

TECNOLOGIA I HUMANITAT: LLUMS I OMBRES

34a UNIVERSITAT D'ESTIU D'ANDORRA

Del 4 al 7 de setembre del 2017

9 789992 008133



Govern d'Andorra

XXXIV Universitat d'Estiu d'Andorra

Del 4 al 7 de setembre del 2017

TECNOLOGIA I HUMANITAT

LLUMS I OMBRES

TECNOLOGÍA Y HUMANIDAD

LUCE Y SOMBRAS

TECHNOLOGIES ET HUMANITÉ

LUMIÈRES ET OMBRES

© Govern d'Andorra

Ministeri d'Educació i Ensenyament Superior
Universitat d'Estiu d'Andorra

Dipòsit legal: AND.237-2018

ISBN: 978-99920-0-857-7

Coordinació: Maria Àngels Ruf Riba

Disseny de la coberta i maquetació: A-Tracció-A

Els textos es publiquen respectant l'ordre i les llengües en què foren pronunciats
Los textos se publican respetando el orden y las lenguas en que fueron pronunciados
Les textes sont publiés en respectant l'ordre des conférences et la langue dans laquelle
elles ont été prononcées

Per citar aquesta publicació / Para citar esta publicación / Pour citer cette publication :

Universitat d'Estiu d'Andorra (34a : 4 - 7 set., 2017 : Andorra la Vella). *Tecnologia i humanitat, llums i ombres* = *Tecnología y humanidad, luces y sombras* = *Technologie et humanité, lumières et ombres* [en línia]. Andorra: Govern d'Andorra. Ministeri d'Educació i Ensenyament Superior. Universitat d'Estiu d'Andorra, 2018 (978-99920-0-857-7) <<http://www.universitates-tiu.ad/UEA2017>>

SUMARI / SUMARIO / SOMMAIRE

DISCURS D'OBERTURA **5**

PRESENTACIÓ **8**

Jean-Paul Marthoz

TECNOLOGÍA Y CIENCIA, MOTORES DE LA HISTORIA DE LA HUMANIDAD **14**

José Manuel Sánchez Ron

MUTATIONS VERS UN ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR INCLUANT LE NUMÉRIQUE :
DÉFIS, ENJEUX, CONDITIONS ET LIMITES **32**

Marcel Lebrun

BIENVENUE DANS L'ÈRE DU « JANUS NUMÉRIQUE » : FORMIDABLE OUTIL
DE DÉVELOPPEMENT ET ARME OFFENSIVE SURPUISSANTE **49**

Nicolas Arpagian

NOUS N'AVONS QU'UNE SEULE PLANÈTE – L'INNOVATION DANS LES SYSTÈMES
ALIMENTAIRES POUR FAIRE FACE AUX DÉFIS PLANÉTAIRES **57**

Olivier Le Gall

FUTUR QUÀNTIC **83**

José Ignacio Latorre Sentís

CONFIANZA EN LA SOCIEDAD DEL RIESGO **96**

José Antonio López Cerezo

CONCLUSIONS **113**

Jean-Paul Marthoz

DISCURS D'OBERTURA

Senyores i senyors,

Bona tarda a tothom,

La Universitat d'Estiu és un dels actes que marquen la *rentrée* després de l'estiu. I és un dels actes als quals el qui us parla s'ha mantingut més fidel: aquesta és la setena Universitat d'Estiu a la qual assisteixo des que soc cap de Govern.

És per això que puc dir que la Universitat d'Estiu d'Andorra ha sabut trobar sempre l'equilibri entre les qüestions que tenien rellevància per al nostre país i que, a la vegada, estaven relacionades amb grans canvis o reptes de la humanitat en el seu conjunt: és així que, al llarg dels últims anys, hem debatut sobre el significat de la darrera crisi econòmica i financera, sobre el paper de les arts al segle XXI o sobre el futur que espera a Europa en aquest món global. Per citar només algunes qüestions.

El tema triat per a aquesta 34a edició també compleix aquests dos requisits: és d'interès local i d'interès global. Les implicacions de l'evolució científica i tecnològica han estat una qüestió que ha interessat i intrigat la humanitat des de fa segles. Precisament, l'any vinent —el 2018— farà 200 anys que Mary Shelley va publicar *Frankenstein*, la primera novel·la a posar damunt la taula la qüestió dels límits ètics de la ciència i la tecnologia. Des d'aleshores, molts han tractat aquesta qüestió: des de filòsofs fins a directors de pel·lícules de ciència ficció.

La ciència i la tecnologia estan al cor de l'evolució de la humanitat. Però els grans esdeveniments del segle XX ens han demostrat que els descobriments científics i els avenços tecnològics també es poden posar al servei de la involució. La raó serveix per revelar la llum, però també pot servir per justificar les tenebres. Com deia, el segle XX ens va donar mostres sobrades d'aquesta dualitat. La humanitat va veure —i va viure— com grans règims totalitaris utilitzaven la ciència i la tecnologia per consolidar el seu poder i oprimir els seus ciutadans.

En la nostra vida quotidiana actual vivim també exemples que confirmen que els avenços científics i tecnològics poden ser una arma de doble tall. Les tecnologies de la informació i la comunicació (per posar un exemple molt clar i quotidià) ens permeten comunicar-nos més ràpid, arribar a més gent,

coordinar-nos millor, fer eleccions més informades i ser més exigents amb els nostres representants polítics. Però, a la vegada, hem vist com sorgien nous riscos: per a la seguretat, per a la intimitat..., fins i tot —paradoxalment— per al dret a una informació veraç i contrastada.

Tot avenç científic i tecnològic comporta noves oportunitats, però també nous reptes. No només les tecnologies de la informació i la comunicació, sinó també altres qüestions com l'enginyeria genètica, la reproducció assistida o l'allargament de la vida.

He dit a l'inici d'aquest breu parlament que els descobriments científics i tecnològics estan darrere de l'evolució de la humanitat. Però els avenços de la humanitat no només són científics i tecnològics. Amb la ciència i la tecnologia no n'hi ha prou per explicar l'evolució de la humanitat. Perquè aquesta evolució no s'explica sense un profund component moral o ètic. Sense valors humanístics no hi ha evolució.

És més, m'atreviria a dir que, com més avancen la ciència i la tecnologia, més necessitem els valors ètics i morals. Uns valors ètics i morals que —al seu torn— també necessiten els avenços de la ciència: perquè, en la mesura que ens acostem més a la veritat, que coneixem millor el món i ens coneixem millor a nosaltres mateixos, també ens tornem més humans i més ètics.

Andorra no és aliena a aquest debat. En primer lloc, perquè cap societat hi és aliena. I en segon lloc perquè el nostre país —per citar dos exemples— està fent de les noves tecnologies un dels eixos de la diversificació de la seva economia i perquè —en un altre àmbit molt diferent— està treballant en una regulació de la reproducció assistida. Aquestes dos qüestions —que són d'actualitat a casa nostra— requereixen que trobem un equilibri entre allò que la ciència i la tecnologia ens permeten fer i allò que des d'un punt de vista ètic estem disposats a permetre fer.

Estic segur que trobarem aquest equilibri. A Andorra i a arreu. Perquè la humanitat —malgrat alguns episodis d'involució— sempre ha trobat aquest equilibri.

Per acabar, vull agrair —com cada any— a totes les persones que feu possible la Universitat d'Estiu d'Andorra. Començant pels organitzadors: el Ministeri d'Educació i Ensenyament Superior, amb el ministre Èric Jover i tot el seu equip. El Comú d'Andorra la Vella, que cedeix gratuïtament el Centre de Congressos. El moderador: el senyor Jean-Paul Marthoz. Els ponents. Els

periodistes que feu difusió de les ponències. I, evidentment, el públic que, any rere any, es manté fidel a aquesta cita amb la reflexió i la cultura.

I aquest any, no podem acabar sense un obligat record per al senyor Juan Goytisolo, que va presidir durant anys aquesta Universitat d'Estiu i que ens va deixar el juny passat a Marràqueix. Seu també és el mèrit d'haver aconseguit que avui estiguem ja a la 34a edició.

Moltes gràcies a tots.

Declaro inaugurada la 34a Universitat d'Estiu d'Andorra.

Andorra la Vella, 4 de setembre del 2017

Sr. Antoni Martí Petit
Cap de Govern

XXXIV UNIVERSITAT D'ESTIU D'ANDORRA
DEL 4 AL 7 DE SETEMBRE DEL 2017

Sessió del 4 de setembre del 2017

PRESENTACIÓ

Jean-Paul Marthoz

Periodista i professor a la Universitat Catòlica de Lovaina.

Corresponsal per a la Unió Europea del Comitè per a la Protecció dels Periodistes (CPJ, Nova York) i vicepresident del Consell consultiu de la Divisió Europa/Àsia Central de Human Rights Watch

Moderador de la 33a Universitat d'Estiu d'Andorra

Periodista y profesor en la Universidad Católica de Lovaina.

Es corresponsal para la Unión europea del Comité para la Protección de Periodistas (CPJ, Nueva York) y vicepresidente del Consejo consultivo de la División Europa/Asia Central de Human Rights Watch

Moderador de la 33ª Universitat d'Estiu d'Andorra

Journaliste et professeur à l'Université Catholique de Louvain.

Il est le correspondant pour l'Union européenne du Comité pour la protection des journalistes (CPJ, New York) et vice-président du Conseil consultatif de la division Europe/Asie centrale de Human Rights Watch

Modérateur de la 33^e Universitat d'Estiu d'Andorra

Per citar aquest article / Para citar este artículo / Pour citer cet article :

MARTHOZ, Jean Paul. «Presentació» [en línia], a: Universitat d'Estiu d'Andorra (34a : 4 - 7 set., 2017 : Andorra la Vella). *Tecnologia i humanitat, llums i ombres = Tecnología y humanidad, luces y sombras = Technologie et humanité, lumières et ombres*. Andorra: Govern d'Andorra. Ministeri d'Educació i Ensenyament Superior. Universitat d'Estiu d'Andorra, 2018, p. 8-13 (978-99920-0-857-7) <<http://www.universitatestiu.ad/UEA2017>>

Le thème de cette année est sans aucun doute l'un des plus importants, l'un des plus passionnants aussi à avoir été choisi par les responsables de l'Université d'Estiu d'Andorra et je les remercie pour leur pertinence et leur travail.

Technologie et humanité : cette thématique, cette équation est au cœur en effet d'enjeux et d'interrogations essentielles, de défis complexes et urgents, de doutes et de mises en garde.

Les changements technologiques ont connu ces dernières décennies une accélération fulgurante, stupéfiante, exponentielle, enivrante sans aucun doute, mais préoccupante aussi. Oserais-je aujourd'hui parler de progrès, là, où dans les siècles passés, cette notion positive semblait accompagner, dans les milieux dirigeants et intellectuels du moins, toute invention, toute découverte ?

C'est pour cette raison que les initiateurs de cette université d'été ont ajouté à l'équation de la Technologie et de l'Humanité, une interrogation fondamentale : « lumière ou ombres » ? Une interrogation qui reconnaît l'ambiguïté de cette grande aventure des techniques et des sciences au cours des siècles et se veut conscient des aléas de leurs applications au sein de nos états, de nos entreprises et de nos sociétés.

Cette interrogation, d'essence humaniste, nous accompagnera tout au long de cette semaine : du premier conférencier, le professeur José Manuel Sánchez Ron, qui nous retracera l'histoire de ces découvertes et inventions et de leurs interactions avec notre monde, jusqu'au dernier conférencier, jeudi soir, José Antonio López Cerezo, qui réfléchira avec nous aux nombreux dilemmes éthiques posés par la technologie.

La technologie n'est pas en effet la chasse gardée des savants, ingénieurs et inventeurs. Elle est conditionnée par le contexte qui l'entoure. Elle exige aussi à tout instant des choix, économiques, éthiques et politiques. S'il y a des ayatollahs de la technologie, la plupart des penseurs s'accorderont à admettre, comme vous le dira le professeur Marcel Lebrun, que les technologies sont ambivalentes, entre aliénation et émancipation, elles sont à la fois un bien et un mal.

Dès lors, l'enjeu de nos sociétés, de nos dirigeants mais aussi de tout citoyen, est de contribuer, comme le disait hier le ministre Jover lors de la conférence de presse, à définir et adopter des critères, qui permettent que les technologies se convertissent en bienfaits et non en malédictions pour nos sociétés.

Le temps presse. Pour mesurer l'urgence de cette action politique, je rappellerai cet extrait d'une déclaration adoptée à Vérone en 1998, à l'issue d'une conférence de l'Unesco sur la science et les valeurs : « ... certaines grandes technologies sont mêmes indirectement considérées comme étant à l'origine des atteintes aux écosystèmes vivants et non vivants. Il leur est fait souvent grief d'accroître la consommation d'énergie et l'accumulation des déchets, ou encore de contribuer à la pollution chimique, physique, nucléaire,... », disaient ses signataires. Ils concluaient : « Des déclarations ayant souvent valeur de promesses ont été faites, notamment par des décideurs politiques lors des sommets de Rio sur l'Environnement et de Copenhague sur le Développement social, promesses qui n'ont généralement pas été tenues. » Devrais-je dire qu'au sommet de Paris sur le climat, des promesses ont été faites et que certains décideurs, suivez mon regard, se targuent aujourd'hui de s'en désister.

« Nos enfants nous maudiront si nous échouons », avaient pourtant prévenu les auteurs du célèbre rapport Brundlant publié par les Nations Unies, en 1987, du nom de l'ex-premier ministre norvégienne, qui avait été appelée à présider une commission mondiale sur l'environnement et le développement.

Progresser aujourd'hui imposerait presque « d'aller en arrière », de détricoter, de défaire, de désinventer. En fait, certaines technologies qui au départ avaient été perçues comme des dons de Dieu ressemblent davantage, selon l'expression du fondateur de l'OPEP, le ministre vénézuélien, Juan Pablo Pérez Alonso, à l'« excrément du diable ». Il parlait bien sûr du pétrole. Mais il aurait pu évoquer l'arme nucléaire, qui se rappelle à nous aujourd'hui avec les décisions matamoresques du président nord-coréen ou avec les scénarios de terrorisme nucléaire, alors qu'elle fut présentée, dans une célèbre lettre d'Albert Einstein au Président Roosevelt en 1939, comme garantie, pour la liberté et la civilisation, contre le totalitarisme nazi et le militarisme nippon.

Et que dire des immenses questions de pouvoir, de risques pour la liberté, pour l'autonomie et la dignité humaine, suscitées par les technologies numériques. Marc Dugan et Christophe Labbé parlaient récemment de L'homme nu, menacé par la surveillance, les big data et les algorithmes, d'être dépouillé de son existence, au profit d'une nouvelle oligarchie mondiale, elle-même libérée des contraintes démocratiques les plus élémentaires.

Que dire des biotechnologies ? Ce n'est plus seulement le mode de fonctionnement de nos sociétés qui, en cas d'emballlements maléfiques, est en jeu, mais la survie de notre monde et le sens même de la vie.

Le partage de la connaissance est l'essence même de l'Université d'Été. Une connaissance au service d'une citoyenneté concernée, socle de la démocratie éclairée qui seule, je crois, peut projeter cette lumière sur l'équation de la Technologie et de l'Humanité.

Au cours de cette semaine, des professeurs et experts vont se succéder pour nous « éclairer » sur les applications technologiques et leurs conséquences dans leur domaine de prédilection, pour écouter aussi vos observations, vos préoccupations, vos intuitions.

Ce soir le professeur Marcel Lebrun abordera les effets des technologies de l'information et de la communication dans l'éducation, un secteur essentiel de l'avenir de nos sociétés, de leur développement économique, de leur cohésion sociale, de leur maturité démocratique. Ce n'est pas Mr. Jover qui va me contredire !

Les autres jours, les intervenants traiteront de sujets qui ont à la fois une dimension planétaire et individuelle, globale et locale : Nicolas Arpagian, de la cybersécurité ; Nuria Oliver, de l'impact de la technologie dans la vie quotidienne et en particulier des big data et du téléphone mobile dans nos vies ; Olivier Le Gall, d'agronomie, d'environnement et d'alimentations ; Bertalan Meskó, de médecine, et José Ignacio Latorre Sentis, de physique quantique.

Par ces interactions entre une démarche académique ambitieuse et l'attention portée aux impacts concrets sur la société, nous sommes vraiment au cœur de ce qui constitue l'essence d'une université d'été, telle que la Principauté d'Andorre l'a conçue et constamment portée au cours de ces trois décennies.

J'aimerais, pour terminer, confirmer cette philosophie de l'Université d'Été que je viens d'esquisser en citant un vieux sage – et je prononce ces mots avec un immense respect – le philosophe Edgar Morin.

« Nos systèmes d'éducation – écrivait-il en préface de son livre *Les sept savoirs nécessaires à l'éducation du futur* – nous fournissent des connaissances séparées et cloisonnées, au lieu de nous préparer à affronter la complexité du monde, de la vie, des êtres humains, de nos sociétés et de la mondialisation, au lieu de nous montrer la nécessité de contextualiser toute information, tout

événement, toute connaissance. » Et il invitait ses lecteurs, enseignants, élèves en fait tous et chacun, « à découvrir qu'en tout sujet humain deux principes se complètent et se combattent, le principe égocentrique du Moi et le principe communautaire du Nous, pour reconnaître qu'aux sources de toute morale la responsabilité et la solidarité sont inséparables, et que celles-ci, à notre époque mondialisante de communauté de destin de toute l'humanité, doivent être élargies à la planète sans cesser de s'exercer concrètement vis-à-vis de ses propres communautés ».

N'est-ce pas là une belle manière de nous offrir un fanal, une lampe essentielle, pour repousser les ombres dans ces grands tunnels que sont le monde et la vie ?

Je vous remercie.

XXXIV UNIVERSITAT D'ESTIU D'ANDORRA
DEL 4 AL 7 DE SETEMBRE DEL 2017

Sessió del 4 de setembre del 2017

**TECNOLOGÍA Y CIENCIA,
MOTORES DE LA HISTORIA DE LA HUMANIDAD**

José Manuel Sánchez Ron

Doctor en física i catedràtic d'història de la ciència,
Universitat Autònoma de Madrid

Doctor en física y catedrático de historia de la ciencia,
Universidad Autónoma de Madrid

Docteur en physique et professeur des universités en histoire de la science,
Université Autonome de Madrid

Per citar aquest article / Para citar este artículo / Pour citer cet article :

SÁNCHEZ RON, José Manuel. «Tecnologia i ciencia, motores de la historia de la humanidad» [en línia], a: Universitat d'Estiu d'Andorra (34a : 4 - 7 set., 2017 : Andorra la Vella). *Tecnologia i humanitat, llums i ombres = Tecnología y humanidad, luces y sombras = Technologie et humanité, lumières et ombres*. Andorra: Govern d'Andorra. Ministeri d'Educació i Ensenyament Superior. Universitat d'Estiu d'Andorra, 2018, p. 14-31 (978-99920-0-857-7) <<http://www.universitates-tiu.ad/UEA2017>>

Ciencia *versus* tecnología

La ciencia es considerada, con más que buenas razones, una de las grandes conquistas de la humanidad; «conquistas» o, tal vez mejor, «atributos» de nuestra especie, *Homo sapiens*. La capacidad de identificar patrones (leyes) en el comportamiento de los fenómenos naturales, así como de descubrir facetas de la naturaleza que no se encuentran al alcance directo de nuestros sentidos, constituye una habilidad que nos distingue claramente de cualquier otra especie existente y, dado que no tuvieron tiempo suficiente para desarrollar semejante habilidad, de los homínidos que nos precedieron o con los que durante algún tiempo compartimos nicho terrestre, es el caso de los neandertales. Consecuentemente, la historia de la ciencia posee un, digamos, *glamour* del que carece la historia de la tecnología. Más aún, para muchos es correcta la siguiente ecuación: «Primero es la ciencia, que, cuando se aplica, se convierte en tecnología». Una ecuación que significa: «Es la investigación “básica” la que debe tener preeminencia, a la que debemos dedicar la mayor parte de nuestros recursos, que luego ya vendrá su aplicación, la tecnología, que es la que proporciona riqueza y poder». No niego que, desde hace aproximadamente un siglo y medio, haya mucho de razón en tal ecuación, aunque desde luego no toda la razón. Pensemos en un único ejemplo: los túneles de viento, instrumentos imprescindibles a la hora de estudiar el comportamiento frente a corrientes de aire de aviones, vehículos de todo tipo, puentes y un sinnúmero de objetos. La razón por la que son necesarios es porque el análisis teórico es insuficiente debido, principalmente, a la aparición de fenómenos no lineales, como las turbulencias, para los que no se pueden encontrar soluciones exactas de las ecuaciones que describen sus comportamientos.

De hecho, no siempre es posible distinguir de forma clara entre ciencia y técnica. Podemos encontrar numerosos ejemplos de inventores que produjeron artilugios tecnológicos sin necesitar o sin disponer de conocimientos científicos avanzados, teorías que los orientasen y diesen algún tipo de seguridad. La guía para estos fue más la imaginación, la habilidad manual así como el método de prueba y error. Poco podía saber, por ejemplo, Thomas Savery, el constructor de la primera máquina de vapor utilizable (patentada en 1699), de la ciencia que estudia, que explica, los intercambios de calor —la termodinámica—, por la sencilla razón que esta disciplina no existía; muy al contrario, uno de los gérmenes de los que surgió la termodinámica fue la observación

del funcionamiento de las máquinas de calor existentes. En este caso, se puede decir que la ciencia «aplicada» precedió a la «teórica». Buena prueba de lo que estoy diciendo se encuentra en el que se puede considerar el texto fundacional de la termodinámica, *Réflexions sur la puissance motrice du feu et sur les machines propres à développer cette puissance* (*Reflexiones sobre la potencia motriz del fuego y sobre las máquinas adecuadas para desarrollar esta potencia*; 1824), debido a un joven francés, estudiante de la prestigiosa École Polytechnique, Sadi Carnot. Prácticamente en las primeras líneas de este escrito, Carnot explicaba que para saber «si la potencia motriz es limitada, o si no tiene límites; si los perfeccionamientos posibles de las máquinas de fuego tienen un término prefijado, que la misma naturaleza de las cosas impide sobrepasar por cualquier medio que sea, o si, por el contrario, esos perfeccionamientos son susceptibles de una extensión indefinida», había que entender las raíces de su funcionamiento; esto es, la física subyacente.

Otro ejemplo que muestra la compleja relación entre ciencia y tecnología es el de las comunicaciones electromagnéticas. El primer tipo de esta clase de sistema de comunicaciones fue la telegrafía, primero terrestre y luego submarina. La pregunta es: ¿Hubo que esperar a disponer de un sistema teórico acabado que explicase los fenómenos electromagnéticos, es decir, a disponer de la electrodinámica desarrollada por el físico escocés James Clerk Maxwell en la década de 1860? La respuesta es que no. Las aplicaciones de la electricidad y el magnetismo ya se abrían camino, con fuerza creciente, en la década de 1840, cuando Maxwell ni siquiera se había graduado en Cambridge (lo hizo en 1854). En este sentido, tampoco se puede decir en este caso que el conocimiento científico guiase al práctico, que la ciencia *pura* precediese a la *aplicada*. El punto de partida real del desarrollo de la telegrafía fue más bien el descubrimiento importante, pero limitado y que no se basaba en ningún conocimiento teórico: el realizado en 1820 por el danés Hans Christian Oersted de que la electricidad producía efectos magnéticos (la variación de la corriente eléctrica que circulaba por un hilo conductor desviaba la aguja imantada de una brújula), deudor a su vez de un aparentemente humilde invento, pero de importancia descomunal, la pila que producía corriente continua que el físico italiano Alessandro Volta construyó en 1800.

Con frecuencia se exagera la importancia de la ciencia, argumentando que los avances científicos se encuentran detrás de los grandes cambios tecnológicos,

cuando lo único seguro es que la ciencia dicta los límites de las posibilidades físicas de un artefacto, pero no determina su forma final ni provoca necesariamente su creación y desarrollo. Más aún, cuando se estudia la historia de la humanidad, lo que nos encontramos es que durante la mayor parte de ella el motor de cambio de esa historia fue la tecnología, no la ciencia. Para sustanciar esta afirmación, les ofreceré una —sin duda incompleta y desde luego muy sucinta— reconstrucción de algunos momentos «tecnológicos» fundamentales en la historia de la humanidad.

Tecnología lítica y homínidos

¿Cuál es el objeto tecnológico más antiguo del que tenemos noticia? La respuesta es «algunos tipos de piedras». En la garganta de Olduvai, al este de la llanura del Serengeti, en el norte de Tanzania, se han encontrado utensilios de piedra de 3,3 millones de años de antigüedad, «herramientas» fabricadas con, especialmente, sílex (SiO_2 , también llamado pedernal), cuarzo u obsidiana (o vidrio volcánico). Sería posible pensar que antes de la piedra se habían utilizado instrumentos de madera, que no nos habrían llegado al haber eliminado sus restos el paso del tiempo. Sin embargo, la mayor parte de los arqueólogos y antropólogos piensan que la piedra debió preceder a la madera, por la sencilla razón de que se necesitan herramientas tan cortantes y duras como las de piedra para preparar, por ejemplo, las puntas de varas de madera, una de las producciones más elementales en las que cabe pensar como pioneras de la tecnología en madera.

Por supuesto, la datación de esos instrumentos líticos implica que se utilizaron cuando no había aparecido la especie *Homo sapiens*, por lo que debemos concluir que la tecnología es anterior incluso a nuestra especie. Fue un logro de alguna de las variedades de homínidos, la familia *Hominidae*, que agrupa, además de a los primates bípedos, a los grandes simios: gorilas, chimpancés y orangutanes. Se han encontrado fósiles de homínidos en diversos lugares de Europa, África y Asia que pertenecen al Mioceno, era geológica que abarca desde hace unos 23 millones de años hasta 5, durante la cual el clima de África se hizo más frío y seco, con la consecuencia de que aparecieron extensas sabanas entre los bosques antes dominantes. Semejante entorno favoreció a las especies que desarrollaron el bipedalismo, que les permitía desplazarse en

esas llanuras, donde, además, podían encontrar alimentos que no se daban en los bosques. Y manos libres, que no se necesitaban para andar, permitieron transportar herramientas como las que se encontraron en la garganta de Olduvai y que continuaron siendo utilizadas durante unos dos millones de años.

Una pregunta interesante es la de las ventajas que aportaba aquella tecnología rudimentaria y primitiva. El primer elemento para poder sobrevivir es, obviamente, alimentarse, y la tecnología lítica lo facilitó a los homínidos bípedos. Pudo hacerlo de dos maneras: para cazar o para actuar como carroñeros. En lo que a los grandes animales se refiere, no está nada claro que se utilizasen pronto instrumentos de piedra del tipo de los encontrados en Olduvai para cazarlos, al fin y al cabo los homínidos eran demasiado pequeños, aun teniendo en cuenta que actuasen en grupos. Únicamente se dispone de evidencias firmes de lanzas con puntas de piedras de hace unos 300 000 años, algo que, desde luego, constituye un importante avance tecnológico. Pero aunque no las utilizasen para cazar, sí pudieron —sin duda lo hicieron— utilizarlas para mejorar sus posibilidades como carroñeros en los despojos de los cadáveres de animales que otros animales habían matado. Las piedras afiladas les permitirían hacer lo que su constitución física les impedía: no tenían dientes lo suficientemente fuertes para romper los huesos y extraer su medula, o para separar la escasa carne que habrían dejado los grandes animales que habían cazado al animal muerto. Si contemplamos todo esto bajo el prisma de la evolución darwiniana, de la supervivencia de los más aptos, podemos pensar que, si no se hubiese dispuesto de la tecnología lítica, tarde o temprano podría haber surgido una especie de homínidos con la dentadura adecuada para hacer lo mismo que hicieron aquellos primitivos homínidos existentes hicieron con sus toscas herramientas de piedra; al fin y al cabo, ¿no es esto, en otra dimensión, lo que sucedió con los pájaros pinzones que se encontró Darwin en el archipiélago de las Galápagos? En unas islas habían evolucionado de una especie ancestral desarrollando picos gordos para poder romper la dura cáscara de los frutos de los que se alimentaban, y en otras, por el contrario, picos delgados y afilados porque los frutos eran diferentes, de cáscara más débil. Podemos decir, en consecuencia, que la tecnología lítica permitió dar un salto en la evolución o, en un sentido metafórico, que la tecnología lítica contribuyó a la evolución y supervivencia de los homínidos; que permitió que sobreviviera una especie que carecía de algunas características físicas básicas en la lucha por la supervivencia. Por otra parte, no olvidemos las ventajas que

tiene poder acceder a fuentes de alimentación tan nutritivas como la carne. El cerebro, y su tamaño, capacidad craneal, constituye una de las diferencias entre los *Homo sapiens* y otros homínidos. Los primeros *Homo* tenían un cerebro un 30 por ciento mayor que el de los australopitecus, y el de los últimos *Homo*, nosotros, surgidos hace unos 160 000 años, un 20 por ciento mayor que el de los primeros. Y en cuanto a consumo energético, recordemos que, aunque ocupa el 2,5 por ciento del peso de un cuerpo, el cerebro consume el 20 por ciento de la energía con la que funciona ese cuerpo. Si unimos este hecho a lo dicho antes, la conclusión es que las herramientas líticas favorecieron especialmente a los *Homo sapiens*, los que poseían un cerebro que necesitaba mayor consumo energético.

Agricultura, ganadería y civilización

Los útiles líticos utilizados por los *Homo sapiens* les sirvieron sobre todo para cazar, pero sabemos muy bien que un momento transcendental en la historia de la humanidad fue cuando se inventó la agricultura, un descubrimiento que reúne las condiciones necesarias para considerarlo una tecnología: no implicó conocimientos científicos —entonces la propia idea de ciencia todavía no existía— y surgió, como muchos otros inventos, mediante un proceso de prueba y error y observación de la naturaleza.

La revolución que produjeron la agricultura y la ganadería, otro invento fundamental, aunque seguramente algo posterior a la agricultura (se benefició de la existencia de productos y restos agrícolas), comenzó en torno a los 9 000 años a. C. Gracias a estos avances aumentó la producción de alimentos y se multiplicó la población. Disponer de recursos agrícolas y ganaderos terminó conduciendo a asentamientos humanos de tamaño y posibilidades cada vez mayores, un proceso que, a su vez, introdujo la división del trabajo, conduciendo finalmente a la «ciudad-Estado», uno de los descubrimientos determinantes para la historia de la humanidad. Jericó, la ciudad más antigua de las conocidas, se levantó unos 7 000 años a. C., y a partir del 5500 a. C. se generalizó el nuevo estilo de vida, en el que la agricultura y la ganadería desempeñaban papeles centrales. La ciudad-Estado, un centro de poder con complejas estructuras administrativas, permitió que se almacenasen excedentes que se podían conservar, y esto indujo a la aparición de grupos dispensados

de las tareas en las que en el pasado se centraba la actividad de prácticamente todos sus habitantes, la producción de alimentos; grupos diferentes de otros necesarios como los artesanos o los sanadores. Surgió así un pequeño número de colectivos, pequeño en cuanto a número, pero cuya importancia a partir de entonces fue inmensa: los dedicados a la guerra, a la administración (los funcionarios) y los sacerdotes.

La búsqueda de energía

Al ir haciéndose más complejas las agrupaciones sociales, se necesitaron nuevos instrumentos para satisfacer las subsiguientes necesidades. Especial pero no únicamente, las grandes ciudades, en las que ya habita una parte sustancial de la humanidad, necesitan de un amplísimo conjunto de tecnologías; pensemos, sin ir más lejos, en las que mantienen servicios de alcantarillado e iluminación. Y si pensamos en tecnologías y en servicios a los ciudadanos, hay que considerar fuentes de energía que permiten que funcionen. La búsqueda de tales fuentes ha sido una constante de la humanidad, que se materializó inicialmente en el uso de la fuerza animal para pasar luego a las denominadas *máquinas simples*, artefactos destinados a multiplicar la fuerza aplicada cuyo funcionamiento, por supuesto, únicamente se puede comprender a partir de la mecánica, una rama de la física que entonces no existía. Eran seis: la palanca para desplazar los cuerpos, el plano inclinado para facilitar la carga y descarga, la cuña para dividir los troncos, la polea para levantar y bajar cargas, el tornillo para mantener unidas dos piezas, y la asociación del eje y la rueda para transportar cargas. Se sabe que la primera de las máquinas mencionadas, la palanca, se empleó ya en Mesopotamia hacia el tercer milenio a. C.

No es casualidad, naturalmente, que muchas poblaciones estén al lado de un río; los primeros asentamientos humanos siempre buscaban, por razones obvias, la proximidad de cauces de agua. Además de los usos más inmediatos (agua para beber, para lavarse, para cocinar, etcétera), los ríos podían cumplir otras funciones. Una de esas funciones fue la de aprovechar la energía del movimiento del agua utilizando ruedas con paletas sobre las que caía el agua haciéndolas girar. Parece que estas *ruedas hidráulicas* eran conocidas hace, al menos, 5 000 años. Un uso obvio era como forma para elevar agua, pero pronto se desarrollaron los mecanismos necesarios para emplearlas como molinos

de agua. Y también están los molinos de agua, utilizados —por ejemplo, por los romanos en el siglo x— inicialmente para triturar y moler grano o elevar agua, y más tarde para hacer pasta de papel con trapos, hacer funcionar los martillos y las máquinas de cortar de herrerías o serrar madera. La dirección y velocidad de la fuerza rotativa proporcionada por la rueda de palas vertical se modificaba por los engranajes y se utilizaba para girar el molino horizontal situado encima de la plataforma de madera. Aquellas poblaciones que no disponían de ríos recurrieron a otro tipo de molinos, los de viento, que parece que ya se utilizaban —los de eje vertical con palas horizontales— en Persia en el siglo vii (los de eje horizontal, los más corrientes en Europa, datan del siglo xii).

Los molinos de viento han tenido unos descendientes que, en lugar de moler grano, producen electricidad. Se trata de los aerogeneradores de producción eléctrica, desarrollados gracias sobre todo al científico danés Poul la Cour, que diseñó el primer prototipo de aerogenerador eléctrico: tenía un rotor de cuatro palas de 25 metros de diámetro cada una y era capaz de generar una potencia de entre 5 y 25 kilovatios. El intenso desarrollo de la aviación durante las primeras décadas del siglo xx, con profundos estudios sobre la aerodinámica de las alas, favoreció el desarrollo de los aerogeneradores: en la década de 1930, la compañía FLSmith construyó en Dinamarca uno de diseño aerodinámico con una potencia de entre 30 y 70 kV. Los aerogeneradores actuales, instalados en torres de 80 metros de altura y con palas gigantescas, llegan a tener potencias de entre 1,5 y 2 megavatios.

La imprenta

Un desarrollo tecnológico muy diferente a los anteriores, pero de inmensa importancia, uno que influiría decisivamente en la historia de la humanidad, fue el invento de la imprenta de tipo móviles debido a Johann Gutenberg (c. 1400-1468), cuyos detalles técnicos continuaron siendo básicamente los mismos durante 350 años. Las imprentas del tipo de la que inventó Gutenberg permitieron que el conocimiento, histórico, social, religioso, científico se difundiera entre cada vez más personas, con las consecuencias de todo tipo que ello tuvo. Por cierto, si se habla de Gutenberg, es imposible no recordar su libro más famoso, impreso en 1456: la *Biblia de 42 líneas*, denominada así porque son 42

las líneas que contienen cada una de las dos columnas de sus 1 284 páginas, distribuidas en dos volúmenes.

Tal vez debería haberme referido también a la invención de la escritura, un tipo de tecnología aún más diferente que la imprenta, pero al que bien se podría denominar la invención más importante de toda la historia de la humanidad, en la medida que permitió transmitir a generaciones futuras el conocimiento alcanzado. Del origen de la escritura solo diré que todas tienen un origen ideográfico —como los caracteres chinos, los jeroglíficos egipcios, los glifos aztecas o mayas y los primeros signos cuneiformes—, pero a partir de él, utilizando algunos ideogramas como fonogramas, fueron evolucionando hacia una escritura fonética cuyo logro final y más perfecto es el alfabeto. La escritura cuneiforme babilonia presentaba aún ideogramas y fonogramas, pero el antiguo persa emplea ya signos cuneiformes de un silabario. El primer alfabeto de la historia es el alfabeto ugarítico, atestiguado hacia el siglo XIV a. C. en Ugarit, en las costas de Siria.

Ciencia y tecnología en el siglo XIX

Podría referirme a otros muchos desarrollos tecnológicos anteriores al siglo XIX, por ejemplo, en el tratamiento de minerales, que incluyen procesos químicos, o a sistemas de comunicación, como la telegrafía óptica, pero no dispongo de tiempo para ello. Y en cuanto al siglo XIX, que acabo de mencionar, hay tanto sobre lo que se podría decir que trasciende los límites de esta conferencia. Algo mencioné al principio, cuando comenté la relación entre ciencia y tecnología. Añadiré ahora algunos, pocos y breves, apuntes. La máquina de vapor dio origen a una gran revolución social. Uno de sus «padres» fue Thomas Newcomen, un hombre que había recibido una educación muy pobre, y que en 1685 se estableció como herrero en Dartmouth (Inglaterra), ocupándose, entre otras tareas, de vender materiales industriales de ferretería, forjar hierro, latón, estaño y cobre, así como fabricar artículos de diferente naturaleza para sus clientes. Precisamente por este trabajo, estaba en contacto con personas familiarizadas con las necesidades y máquinas que se utilizaban en industrias como las de la minería y la cantería, contactos que le sirvieron para apreciar las posibilidades de las ideas que antes que él habían producido hombres como Denis Papin o Thomas Savery. Una de las grandes aplicaciones

de la máquina de vapor fue al transporte, al ferrocarril. Un nombre central en la historia del ferrocarril es el del inglés George Stephenson, quien construyó una locomotora —bautizada con el apropiado nombre de *Locomotion*— que alcanzaba una velocidad de casi 20 kilómetros por hora, con la que en 1825 se comenzó a transportar el carbón extraído de la zona minera de Witton a Stockton, en el estuario del río Tees, a lo largo de un ramal con una única vía de 38,7 kilómetros de longitud. Cuatro años después construyó una nueva locomotora, conocida como *The Rocket (El Cohete)*, que llegaba a los 40 km/h; con ella se inauguró el 15 de septiembre de 1830 la primera línea de la historia que transportaba pasajeros: cubría el trayecto Liverpool-Manchester. El impacto social del ferrocarril fue grande, pero exigió una serie de complejas operaciones: en primer lugar, construir extensas líneas de raíles sobre las que pudiesen circular los trenes, tarea que suponía intervenir sobre el terreno, en ocasiones construyendo túneles y puentes y, luego, establecer estaciones y un complejo sistema para controlar el tráfico que evitase los accidentes.

Otro medio de transporte en el que se introdujeron las máquinas de vapor fue en los barcos. Los primeros intentos en este sentido se realizaron con dos pequeños barcos fluviales propulsados por ruedas de paletas: el *Charlotte Dundas* (Inglaterra, 1802) y el *Clermont* (Estados Unidos, 1807). El primer barco movido por una máquina de vapor, también con ruedas de paletas, que cruzó el Atlántico fue el *Royal William*, que cubrió el trayecto Quebec-Londres en 1833. Unos años más tarde, las ruedas de paletas comenzaron a ser sustituidas por hélices, también movidas por máquinas de vapor. Con esta novedad y con mejores máquinas, pronto la era de la navegación a vela perdió su hegemonía y utilidad: en 1850, un barco de vapor cruzaba el Atlántico en menos de diez días, y antes del final del siglo, en seis días, duraciones que no podía soñar alcanzar ningún barco de vela.

En cuanto a las consecuencias sociales de la introducción de la máquina de vapor, tenemos que favoreció los monopolios. La energía del viento y del agua era libre, pero el carbón que movía las máquinas era caro, más aún las propias máquinas. El funcionamiento durante veinticuatro horas, que caracterizaba a las minas y altos hornos, llegó ahora a otras industrias que hasta entonces habían respetado las limitaciones del día y de la noche. Impulsados por el deseo de ganar todo el dinero posible sobre sus inversiones, los fabricantes de textiles alargaron la jornada de trabajo; mientras en Inglaterra en el siglo xv

había sido de catorce o quince horas en pleno verano con dos horas y media a tres horas para el recreo y las comidas, en las nuevas ciudades fabriles fue a menudo de dieciséis horas durante todo el año, con una hora solo para comer. Funcionando con vapor, alumbradas por gas, las nuevas fábricas podían trabajar durante veinticuatro horas. Por otra parte, la energía de vapor era más eficiente en grandes unidades que en pequeñas, lo que impulsó el gigantismo industrial, e implícitamente el capitalismo.

El otro gran desarrollo tecnocientífico del siglo XIX surgió en el mundo de las comunicaciones electromagnéticas. Primero fue la telegrafía con hilos, en la que el gran logro fue la gran línea telegráfica transatlántica, que unió las islas Británicas con Norteamérica. Completada en 1866, la instalación de esta línea telegráfica constituyó un gigantesco logro tecnológico y científico. Fueron necesarios grandes recursos materiales y técnicos: la línea se depositó utilizando un barco enorme, el *Great Easter*, pero también se precisó de la mejor ciencia del momento, ejemplificada en ese caso por el gran Kelvin. Rápidamente fue surgiendo una malla de redes telegráficas que inundaron el globo terrestre, que hizo el mundo más pequeño. Y más tarde llegaron el teléfono, la radio y la televisión. Una nueva civilización, en suma.

En este punto tengo que hacer una precisión. Dije antes que la telegrafía eléctrica con hilos comenzó en gran medida independientemente de los avances que se realizaron a lo largo del siglo XIX en la física del electromagnetismo. No se puede decir lo mismo, sin embargo, de la telegrafía sin hilos, de la radio y de la televisión. El punto de partida de estas tecnologías se encuentra en la predicción que James Clerk Maxwell realizó en la década de 1860 de la existencia de ondas electromagnéticas, y en la comprobación que Heinrich Hertz efectuó en 1888 de que cargas aceleradas emitían ondas electromagnéticas. El desarrollo tecnológico no fue aquí independiente del conocimiento científico.

El siglo XX: ciencia y tecnología

El caso de la telegrafía sin hilos, una tecnología fuertemente, aunque no totalmente, dependiente del conocimiento científico, representa algo así como la pauta que seguiría buena parte de la tecnología del siglo XX. Y ningún ejemplo muestra esto con mayor claridad que el transistor.

Un *transistor* —comenzaré recordando— es un dispositivo electrónico hecho de un material semiconductor que puede regular una corriente que pasa a través de él y también actuar como amplificador y que, comparado con los tubos de vacío y los triodos que le precedieron, necesita cantidades muy pequeñas de energía para funcionar; además, son más estables, compactos, actúan instantáneamente y duran más.

El transistor es un «hijo» de la física cuántica, una rama de la física que, junto con la relatividad einsteiniana, revolucionó la física de la primera mitad del siglo xx. Con «“hijo” de la física cuántica» quiero decir que, sin poseer una gran maestría en esta compleja disciplina, es imposible imaginar que hubiese sido posible inventar el transistor, un artilugio del que con justicia se puede decir que cambió el mundo; el mundo que todos poblamos, y también los mundos de la industria y, subsidiariamente, de la economía. Y tras los transistores vinieron los circuitos integrados, minúsculos y muy delgados dispositivos en los que se fundamenta el mundo digital (cada circuito integrado puede albergar millones de transistores). Integrados en circuitos integrados, o *chips*, los transistores han cambiado, literalmente, las formas en las que nos comunicamos, trabajamos, relacionamos con el dinero, escuchamos música, vemos televisión, conducimos coches, lavamos nuestra ropa o cocinamos.

Hasta la llegada de los transistores y circuitos integrados, las máquinas de calcular utilizadas eran gigantescos amasijos de componentes electrónicos. Durante la Segunda Guerra Mundial se construyó una de las primeras computadoras electrónicas, el *Electronic Numerical Integrator and Computer*, Computador Integrador Numérico Electrónico, también conocido por sus siglas inglesas, ENIAC. Tenía 17 000 tubos electrónicos, unidos por miles de cables, pesaba 30 toneladas y consumía 174 kilovatios. Podemos considerarlo el paradigma de la primera generación de computadoras. Con los transistores llegó, en la década de 1950, la segunda generación, ejemplificada por el TRADIC (de *Transistorized Digital Computer*), construido en 1954 por los Laboratorios Bell para la Fuerza Aérea estadounidense; utilizaba 700 transistores y podía competir en velocidad con ENIAC. El primer ordenador personal (PC) tardó más en llegar: fue construido en 1972 en el Centro Xerox de Investigación de Palo Alto, pero no atrajo realmente la atención del gran público hasta finales de la década de 1980.

El número de computadoras, *smartphones* (teléfonos inteligentes) y tabletas, y el número de ellos conectados a Internet, que existen en nuestros hogares, crece

y crece exponencialmente. En la actualidad, el mundo digital es el reino de los terminales, los módems, los lenguajes-protocolos de programación, de los bits (acrónimo de *binary digit*), *bytes* (conjuntos ordenados de 8 bits), *megabytes* (1 *megabyte* es un millón de *bytes*) y las sucesivas unidades, *gigabytes*, *terabytes*, etcétera; del correo electrónico, los servidores, las «nubes», las realidades virtuales o las redes sociales, sistemas que requieren de un enorme conjunto de tecnologías. Pronto estaremos rodeados de minúsculos microprocesadores que detectarán nuestra presencia (sensores de rayos infrarrojos nos identificarán por el calor que despedimos), se anticiparán a nuestros deseos —que conocerán tras una cierta educación: cada vez son *más inteligentes*— e incluso interpretarán nuestras emociones. Cuartos de aseo inteligentes supervisarán nuestra salud, realizando, por ejemplo, análisis químicos de orina o tomándonos el pulso simplemente cuando nos sentamos en el asiento del retrete. Es lo que ahora, en el siglo XXI, se denomina *Internet de las cosas*, que no es sino la intensificación de la presencia de sensores en todo tipo de objetos y entornos, sensores que tienen acceso a Internet y que se conectan entre sí en grupos.

No olvido el impacto que este mundo tecnológico ha tenido en la economía. Basta mencionar un nombre: Silicon Valley, surgido, por cierto, cuando algunos científicos se decidieron a traspasar las fronteras de la academia de una manera mucho más radical que cuando aceptaron trabajar para laboratorios industriales; esto es, convirtiéndose ellos mismos en empresarios. Como es bien sabido, el crecimiento, durante las décadas de 1960 y 1970, de Silicon Valley fue extraordinario. Con él y en él se estableció una «nueva alianza» entre ciencia e industria, entre investigación básica e innovación.

Encontramos otro buen ejemplo del papel motor de la ciencia en desarrollos tecnológicos en nada menos que una de las teorías científicas más bellas que jamás se han creado: la teoría de la relatividad general, formulada por Albert Einstein en 1915. Esta teoría describe los fenómenos gravitacionales, y nos ha permitido entender o descubrir cosas como la expansión del universo o la existencia de objetos astronómicos tan sorprendentes como los agujeros negros, pero también es fundamental para una herramienta tecnológica cuyo uso se extiende cada vez más: el *Global Positioning System* o sistema de posicionamiento global (GPS): hay que tener en cuenta los efectos relativistas para que no se produzcan desviaciones importantes en las localizaciones. Por cierto, el GPS depende, como es bien sabido, de satélites artificiales, «instru-

mentos» tecnológicos de los que podría hablar mucho, entre otras cosas, para hacer hincapié en la relación entre tecnología, fuerzas armadas y política. Pero debo continuar ahora con el presente siglo, el **xxi**.

El siglo **xxi y la cuarta revolución industrial**

Klaus Schwab, fundador del Foro Económico Mundial, que se reúne anualmente en Davos (Suiza), ha acuñado el término *cuarta revolución industrial* para el proceso que se inició a comienzos del siglo **xxi** y que se basa en las posibilidades del mundo digital. «Se caracteriza», ha señalado, «por un Internet más ubicuo y móvil, por sensores más pequeños y potentes y que son cada vez más baratos, y por la inteligencia artificial y el aprendizaje de la máquina». Las anteriores fueron, según él, la propiciada por la invención de la máquina de vapor; la que se produjo entre finales del siglo **xix** y comienzos del **xx**, caracterizada por la producción en masa gracias al desarrollo de la ciencia electromagnética y la cadena de montaje, y la de la globalización, posible debido a las técnicas digitales y las computadoras, que se inició en la década de 1960.

El presente siglo será —ya lo está siendo— la centuria en la que florecerán campos como la inteligencia artificial, la robotización, la nanotecnociencia, los materiales y una nueva medicina, la de la ingeniería genética y la biología sintética.

Es inminente la llegada, la invasión, de máquinas «inteligentes» que superarán las conocidas y que podrán realizar muchas de las tareas protagonizadas hasta ahora por humanos, con mayor eficacia y seguridad que estos. Hablar de «inteligencia artificial» implica, por supuesto, ponerse de acuerdo antes sobre qué es la «inteligencia», puesto que no existe una definición que se acepte universalmente. Una posible forma de reconocer la inteligencia artificial es el denominado *test de Turing*, propuesto por el genial y nada afortunado matemático inglés Alan Turing, en un artículo publicado en 1950 en el que sostuvo que una máquina es inteligente si una persona que la interroga, pero no la puede ver, es incapaz de deducir por sus respuestas si se trata de una máquina o de un humano. Para el tipo de inteligencia implícita en el test de Turing podrían bastar dispositivos muy sofisticados pero estáticos, del tipo de *Deep Blue*, la computadora de IBM que derrotó en 1997 a Gary Kasparov, campeón mundial

de ajedrez. Más recientes, enero de 2017, y mucho más significativas son las victorias de un programa de ordenador, *Libratus*, diseñado en la Universidad Carnegie Mellon, de Pittsburgh, por dos matemáticos, Noam Brown y Tuomas Sandholm, en una partida de póker ante cuatro campeones mundiales de ese juego. Y digo «significativas», porque el póker no es como el ajedrez, basado en reglas lógicas, en millones y millones de posibilidades, pero todas obedeciendo a unas reglas fijas; mientras que en el póker desempeñan un papel central las iniciativas de las personas, incluidas las «faroles».

Los dispositivos «inteligentes» ya están ayudando a resolver, o al menos a aliviar, algunos de los problemas que afectan hoy a la humanidad: vehículos —existen prototipos— que no necesitan de un conductor, que, por ejemplo, incrementarán la movilidad de ancianos y discapacitados; edificios inteligentes que permiten economizar los gastos energéticos y reducir las emisiones de dióxido de carbono; servicios médicos automatizados, presenciales o a distancia; o sistemas para mejorar la enseñanza en todos los niveles educativos. Los ejemplos de máquinas como estas, que no solo respondan a preguntas, sino que reaccionen ante el entorno, que tomen decisiones ante situaciones inesperadas y que puedan aprender de «experiencias» anteriores, son ya muy numerosos y lo serán mucho más pronto. Por supuesto, también están los sistemas inteligentes «móviles», los robots que podrán mantener —existen algunos— otros tipos de relación, más personales y afectivas, con los humanos, y de apariencia más similar a ellos.

Estamos en el umbral de este mundo. Pero aparecerán problemas importantes. Uno de ellos es cómo afectará al mercado laboral. Algunos estudios pronostican que en dos décadas el 47 % de los empleos en Estados Unidos se verán sustituidos por procesos automatizados. El empleo crecerá en puestos de trabajo cognitivos y creativos de altos ingresos, y en ocupaciones manuales de bajos ingresos, pero disminuirá con fuerza para los empleos rutinarios y repetitivos de ingresos medios. No son pocos los que creen que, al igual que en épocas anteriores de cambio tecnológico el balance para el mercado laboral resultó siempre positivo, lo mismo sucederá ahora. No estoy nada seguro de que será así, pero sí sé que la historia no ofrece necesariamente lecciones inmutables, solo formas racionales de comprender el pasado. De lo que sí estoy seguro es de que muchas personas sentirán lo mismo que los luditas de los siglos XVIII y XIX, que trataron de combatir las máquinas de hilar que amena-

zaban sus trabajos en los nuevos telares industriales. Pero los luditas perdieron la batalla, como la perderán, si es que aparecen, quienes intenten luchar contra la robotización inteligente en curso.

De la nanotecnociencia se pueden decir muchas cosas. Engloba cualquier rama de la tecnología o de la ciencia que investiga o hace uso de nuestra capacidad para controlar y manipular la materia a escalas comprendidas entre 1 y 100 nm. Avances logrados en este dominio han permitido desarrollar nanomateriales y nanodispositivos que ya se están utilizando en ámbitos diversos. Así, es posible emplear una disolución de nanopartículas de oro de unos 35 nm de diámetro para localizar y detectar tumores cancerígenos en el cuerpo, puesto que hay una proteína presente en las células cancerígenas que reacciona con los anticuerpos adheridos a esas nanopartículas, permitiendo localizar las células malignas. Es posible, por otra parte, utilizar tubos nanoscópicos de grafeno (un material bidimensional compuesto de átomos de carbono dispuestos según un patrón regular hexagonal), observados en 1976 por Morinobu Endo y sobre los que llamó la atención en 1991 Sumio Ijima, para fabricar materiales más resistentes que el acero y entre 6 y 10 veces más ligeros, que seguramente revolucionarán los mundos de la electricidad, la electrónica y la computación. Al igual que lo que ha sucedido en otras ocasiones, uno de los actuales impedimentos para la comercialización de dispositivos que utilizan grafeno es el precio de este: gramo a gramo, es uno de los materiales más caros del planeta, pues una hojuela de un micrómetro de grosor cuesta más de 1 000 dólares. Pero este problema lo suele resolver el tiempo —piénsese, por ejemplo, en lo que costó obtener, unos cuantos miles de millones de dólares, el primer mapa de un genoma humano, y lo que cuesta ahora, en torno a mil dólares—, con la mejora de las técnicas implicadas en la producción. Cuando el grafeno tenga un precio competitivo, tendrá un impacto muy significativo en las industrias de fabricación e infraestructura.

Particularmente relevante a la hora de plantearse qué nos puede reservar el futuro son la ingeniería genética y la biotecnología (nótese los términos *tecnología* e *ingeniería*, que revelan la íntima relación que existe en estos dominios entre ciencia básica y tecnología, relación de la que ha surgido el término *tecnociencia*). Diseñar vida, animal o vegetal, a la carta, es algo que hace tiempo que está en marcha. La denominada *biología sintética* proporcionará la posibilidad de personalizar los organismos mediante la configu-

ración del ADN. Plantas y animales podrán ser diseñados para producir productos farmacéuticos. Ya se han comenzado a diseñar los genomas de cerdos para confeccionar órganos adecuados para trasplantar a humanos, un proceso denominado *xenotrasplante*. Hace muy pocos días los periódicos de todo el mundo se hacían eco del hecho de que un equipo internacional de investigadores había conseguido por primera vez embriones viables sin carga genética defectuosa, eliminando en este caso las causas de la muerte súbita. Se abre de esta manera —en realidad, esta puerta lleva mucho tiempo abriéndose— para curar muchos males (10 000 se han mencionado), pero también, es evidente, para intervenir en la evolución de nuestra propia especie, para modificar la línea germinal. Ante semejante posibilidad, se ha intensificado el debate de si se deben introducir normas para evitar utilizar este tipo de técnicas que pueden conducir a obvias desigualdades sociales. Personalmente veo muy difícil que lleguen a implantarse, de manera efectiva, normas legales semejantes. La historia enseña que lo que puede hacerse, más pronto que tarde, se hace. Más aún en casos como este, en el que de lo que se trata es de mejorar características de individuos, y hacerlo de forma que esas mejoras se transmitan a su descendencia. Me doy cuenta perfectamente de los peligros que ello implica, pero lamento decir que mi creencia en la amplitud de miras sociales de los humanos no es tanta como para pensar que aquellos que puedan no utilicen estos poderes. ¿No estamos viendo que es así en infinidad de apartados (pensemos, aunque no sea lo mismo, en la negación que no pocos hacen —y alguno, reciente, muy importante— del cambio climático, o si se prefiere, de tomar medidas para minimizarlo)? En definitiva y para finalizar, es evidente que el futuro, social y genético, de nuestra especie se halla ante retos no hace mucho inimaginables. Todo ello producto del conocimiento científico y el desarrollo tecnológico. Y de lo que no cabe duda es que, intelectualmente, ese futuro será muy interesante, apasionante de hecho.

XXXIV UNIVERSITAT D'ESTIU D'ANDORRA
DEL 4 AL 7 DE SETEMBRE DEL 2017

Sessió del 4 de setembre del 2017

**MUTATIONS VERS UN ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR
INCLUANT LE NUMÉRIQUE :
DÉFIS, ENJEUX, CONDITIONS ET LIMITES**

Marcel Lebrun

Doctor en ciències, professor de tecnologies de l'educació i conseller pedagògic,
Universitat catòlica de Lovaina

Doctor en ciencias, profesor de tecnologías de la educación y consejero pedagógico,
Universidad católica de Lovaina

Docteur en sciences, professeur en technologies de l'éducation et conseiller pédagogique,
Université catholique de Louvain

Per citar aquest article / Para citar este artículo / Pour citer cet article :

LEBRUN, Marcel. « Mutations vers un enseignement supérieur incluant le numérique : défis, enjeux, conditions et limites » [en línia], a: Universitat d'Estiu d'Andorra (34a : 4 - 7 set., 2017 : Andorra la Vella). *Tecnologia i humanitat, llums i ombres = Tecnología y humanidad, luces y sombras = Technologie et humanité, lumières et ombres*. Andorra: Govern d'Andorra. Ministeri d'Educació i Ensenyament Superior. Universitat d'Estiu d'Andorra, 2018, p. 32-48 (978-99920-0-857-7) <<http://www.universitatestiu.ad/UEA2017>>

Préambule

La thématique centrale de notre conférence portera sur « l'école » numérique (en y incluant l'enseignement supérieur dans un continuum formatif qui se prolonge « toute la vie durant ») et plus largement sur l'innovation pédagogique considérée comme un processus d'apprentissage, humain et sociétal, à différentes échelles. Il est devenu assez commun de qualifier notre société (et son « école ») par l'adjectif « numérique ». Mais qu'en est-il réellement ? Parlons-nous encore et toujours d'outils ou de ressources numérisées voire de MOOC ou alors le numérique concerne-t-il d'autres comportements nécessaires ou à développer, d'autres rapports aux savoirs, d'autres rôles, d'autres postures pour les acteurs de la société, pour les enseignants et formateurs, pour les apprenants ? Entre approches par compétences, méthodes pédagogiques qualifiées d'actives et instruments numériques d'apprentissage, entre la nécessité de certifier mais aussi celle de rendre les évaluations formatives, vecteurs d'apprentissages donc, quelle vision pour « l'école » de demain ? Selon nous, les technologies (les « outils ») sont ambivalentes, entre aliénation et émancipation, et il revient aux humains d'imaginer les voies qui conduiront à une meilleure humanité en profitant au mieux des espaces de liberté qu'elles nous offrent. Les enjeux sont énormes et finalement « **les technologies nous ont condamnés à devenir intelligents** » (M. Serres).

Ainsi, lorsque nous parlons du rôle des technologies pour réduire le fossé entre les individus, nous pourrions tout aussi bien argumenter que ce dernier ne fera que s'élargir entre ceux qui sont connectés à Internet et les autres. D'autre part, si réduire le fossé revient à niveler les différences qui constituent la richesse de nos cultures, c'est à un véritable désert culturel que nous entraîneront ces « merveilleuses » technologies. Ainsi, comme toute création humaine, les technologies sont ambiguës, elles constituent à la fois un « bien » et un « mal », cette « option » dépendant des usages que nous ferons des artefacts que nous avons nous-mêmes créés. La chose n'est pas nouvelle : déjà Socrate racontait la fable, rapportée par Platon dans *Phèdre*, que nous résumons ici.

Le dieu Thot, inventeur de l'écriture, vint à amener ce merveilleux présent à Pharaon ; avec elle, lui dit-il, jamais plus les Hommes ne perdront la mémoire et leur sagesse deviendra grande. Que me racontes-tu là lui dit Pharaon. Si tout est écrit, les hommes ne feront plus l'effort de

se souvenir et leur mémoire se desséchera. Quant à la sagesse, crois-tu qu'il suffise de se fier aux expériences des autres pour l'acquérir ? La sagesse d'un Homme n'est-elle pas celle qu'il s'est lui-même construit d'expériences en expériences personnelles ?

À titre de contextualisation, les MOOC : 2 millénaires plus tard

Il y en eut des discours sur les technologies dans l'éducation. Chaque fois, que l'on pense au « bon vieil EAO » (Enseignement Assisté par Ordinateur) dans les années 80, au cédérom interactif des années 90, au Web ou plus tard au Web 2.0 des années 2000, des discours enthousiasmants, prudents ou encore hostiles virent le jour. Ballotés entre ces extrêmes, des pionniers ont de tout temps, tenté de chercher et d'expérimenter des « tierces places » fertiles en valeurs ajoutées de ces TIC (Technologies de l'Information et de la Communication). Ils ont été les explorateurs du monde de la technopédagogie mais, leurs innovations sont trop souvent restées des enclaves. À titre d'exemple récent, on peut citer le récent rapport PISA (2015) et le document « Connectés pour apprendre » de l'OCDE (2015) : *Les pays qui ont consenti d'importants investissements dans les TIC dans le domaine de l'éducation n'ont enregistré aucune amélioration notable des résultats de leurs élèves en compréhension de l'écrit, en mathématiques et en sciences*. Pour comprendre cet état de fait, les auteurs avancent l'hypothèse suivante : *En nous contentant d'ajouter les technologies du XXI^e siècle aux pratiques pédagogiques du XX^e siècle, nous ne faisons qu'amoinrir l'efficacité de l'enseignement*. Pour les auteurs de l'étude, il est possible qu'en l'état actuel des connaissances, on ne maîtrise pas assez le type d'approches pédagogiques qui permettent d'utiliser ces nouveaux outils. Serons-nous capables d'utiliser les espaces de liberté et les valeurs ajoutées que les technologies nous offrent ?

Depuis environ 2008, un nouvel avatar de ces TIC dans l'environnement éducatif a vu le jour : les MOOC. Est-il besoin de rappeler ce que sont ces *Massive Open Online Courses* ? Vous avez suivi des cours en amphithéâtre ? Vous avez réalisé des exercices en salle de TP ? Vous avez échangé sur une thématique lors d'un séminaire ? Et bien voilà, ce cœur de métier des universités et hautes écoles est là sur la toile, accessible, gratuit, ouvert à des milliers d'étudiants de

par le monde. **Accessible** via Internet (oui, évidemment il faut être connecté), **gratuit** (on ne paie pas pour y entrer mais la certification, c'est ou ce sera autre chose), **ouvert** (pas de prérequis, enfin, on dit ça).

Avant de continuer notre analyse, il est bon de comprendre qu'il y a MOOC et MOOC ! L'enseignement lui-même a toujours été balancé entre des tendances relativement caricaturales que je qualifierais de « transmissives » (transmettre le savoir déjà là, certains diront le savoir cristallisé) et d'autres un peu plus idéalistes davantage orientées vers la construction par l'apprenant lui-même de ses connaissances et compétences (ce qui est malgré tout une évidence, on ne peut apprendre à la place de quelqu'un d'autre). On passe ainsi, dans un éternel balancement, du « *Sage on the stage* » (le maître sur l'estrade) au « *Guide on the side* » (l'accompagnateur aux côtés). Pour ma part, j'y ai toujours vu une belle complémentarité, une position somme toute difficile à tenir, chacun demandant à l'expert de se prononcer.

Les MOOC n'échappent pas à cette catégorisation rudimentaire. Ils sont nés dans le courant connectiviste de Georges Siemens (2004) privilégiant le caractère contextuellement, socialement et historiquement construit des savoirs. En conséquence, ces MOOC s'inscrivent initialement dans le courant davantage constructiviste et socio-constructiviste de l'apprentissage et prônent l'édification d'une intelligence collective (communauté d'apprentissage et de pratiques) soutenue à large échelle par le numérique. Mais, l'appellation « MOOC » a été reprise (usurpée ?) un peu plus tard par des systèmes fortement automatisés dans un courant davantage transmissif voire behavioriste (des cours filmés, des exercices en ligne...). **Les premiers historiquement, connectivistes sont appelés cMOOC, les seconds plutôt transmissifs, xMOOC.** Ces derniers sont portés actuellement par des consortiums prestigieux principalement nord-américains : edX, Coursera, Udacity. En Europe, des universités s'affilient à ces consortiums. Par exemple, l'UCL (Université catholique de Louvain) a rejoint edX... leurs premiers xMOOC sont disponibles depuis 2014.

Comme pour l'enseignement ou la formation en général, nous imaginons dans l'avenir une hybridation féconde de ces extrêmes. Si chacun(e) de nous va devoir « apprendre toute la vie durant », il sera nécessaire que nous (les mêmes) enseignions toute la vie durant. L'enseignement n'est plus seulement une « affaire de profs », il nous concerne chacun et chacune. Et c'est là, que

peuvent revenir en force des méthodes comme l'apprentissage par problèmes, l'apprentissage par projet, l'apprentissage par investigation (d'où l'appellation iMOOC de Jean-Marie Gilliot) ou encore par tâches (les tMOOC de Lisa Lane)... et aussi des espaces d'apprentissage et d'échanges de pratiques ancrés dans les contextes, les communautés, les régions (comme les *Learning Labs* et les ateliers de *co-design*...). Entre émancipation grâce à l'outil technologique qu'il conviendra d'utiliser et de socialiser correctement et prolétarianisation des enseignants par la machine numérique, avons-nous vraiment le choix ? L'humain est-il une « option » ?

Pour notre part, nous avons lancé, en partenariat entre l'UCL avec l'Université Claude Bernard de Lyon I, en octobre 2013 un x-c-MOOC, eLearn2 « Se former en ligne pour former en ligne ». Une trentaine d'apprenants sont accompagnés (un tutorat est organisé sur la base de leur projet individuel) et bénéficient de ressources (parcours pédagogiques faits de documents, d'exercices, de tâches...) qui sont partagées avec une communauté plus vastes (700 participants) dont l'accompagnement est effectué... par la communauté elle-même. La communauté large bénéficie des ressources de la formation tutorée (ce serait donc un xMOOC) et procure différentes formes d'accompagnement dont bénéficient aussi les participants tutorés (comme dans un cMOOC). Une préfiguration de l'école avec des élèves encadrés plongée dans des réseaux plus vastes ?

Une boussole pour s'orienter et survivre dans l'océan numérique

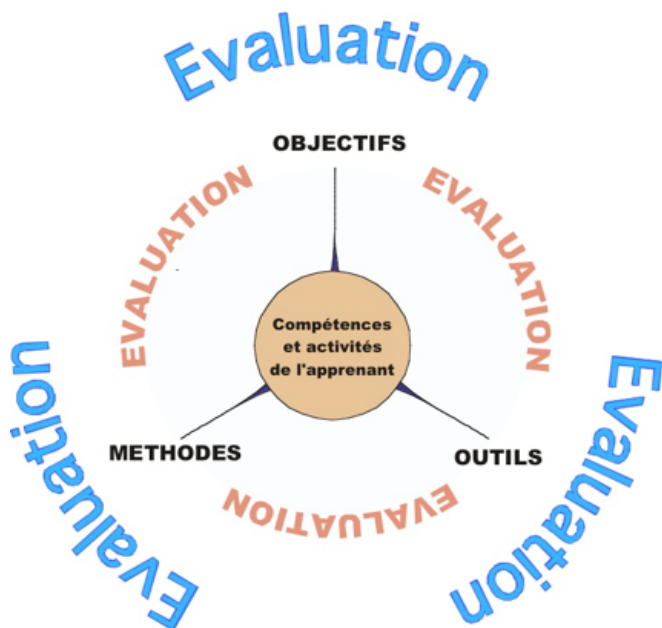
Dans ces champs de tension, il devient nécessaire selon nous de retourner aux fondamentaux. Un de ceux-ci concerne l'élaboration par le formateur (nous ?) de dispositifs pédagogiques dans lequel l'apprenant (nous ?) pourra apprendre. John Biggs (2003) préconise ainsi l'alignement constructif.

L'alignement Constructif (on entend parfois Constructiviste) consiste en l'alignement des objectifs d'apprentissage déclarés (*intended Learning outcomes*), des méthodes pédagogiques mises en place et de l'évaluation (des apprenants).

Pour ma part, j'ai complété cet alignement en tenant en compte les outils technologiques (notre préoccupation dans cet article). J'écrivais récemment (Lebrun, 2011) :

Parmi les conditions qui émergent des études (Lebrun, 2007), celle de l'alignement entre les objectifs (aujourd'hui, après les compétences, les learning outcomes), les méthodes mises en place pour les atteindre et les évaluations de cette atteinte par les étudiants (Biggs, 2003) est fécond : il manque dans ce modèle, selon nous, les outils (ressources, instruments et réseau) qui pourtant imprègnent ces piliers de la construction de dispositifs à valeurs ajoutées. En effet, les objectifs exprimés en termes de compétences (recherche d'information, esprit critique, travail d'équipe, communication...) sont colorés par le numérique ; les méthodes orientées vers l'apprentissage effectif et augmenté seront soutenues par ces mêmes outils. Pourquoi sont-ils si peu présents dans nos « référentiels de compétences » ?

C'est pourquoi, j'ai proposé un principe un peu plus large que j'appelle **principe de cohérence**. Dans la figure ci-dessous, je développe une approche systémique « Objectifs, méthodes et outils » en les encadrant par l'omniprésente évaluation : l'évaluation des apprenants (à l'intérieur) et l'évaluation du dispositif ainsi créé (à l'extérieur). J'y inscrais donc deux choses « nouvelles » : la présence de la technologie avec le pôle « Outils » et l'évaluation du dispositif (en complément de l'évaluation des apprenants).



Une question d'objectifs, de compétences

La question des technologies à l'école ne peut ainsi être résolue ou pour le moins documentée qu'après la considération des objectifs visés par cette même école (un mot que nous considérons ici au sens large, de l'école primaire au supérieur voire en formation continuée, la formation et l'apprentissage toute la vie durant). La notion d'objectif très présente encore dans les années 90, fut complétée par celle de compétences dans les années 2000. Jacques Tardif (2006) définit ainsi cette notion : « Une compétence est définie comme un savoir-agir complexe qui prend appui sur la mobilisation et la combinaison efficace d'une variété de ressources internes et externes à l'intérieur d'une famille de situations ». Nous proposons une définition personnelle construite sur les éléments suivants que nous appelons parfois les « CCC » : **des Capacités** (les opérations élémentaires à effectuer, les verbes) qui s'exercent sur **des Contenus** (ce sur quoi s'exerce la capacité, les substantifs) dans différents **Contextes** (les conditions dans lesquelles s'exercent les opérations et prennent sens les productions). En ce qui concerne les deux premiers termes (contenus et capacités, très proches des Savoirs et Savoir-faire), la taxonomie de Bloom revisitée les croise : différents types de savoirs (factuels, conceptuels, procéduraux...) et différentes activités (comprendre, appliquer, analyser...).

Cette approche cognitive (liée aux connaissances et à leur construction) est complétée par la typologie de Jean-Marie De Ketele qui ajoute aux savoirs et savoir-faire des éléments qui touchent davantage aux comportements, aux attitudes, à la manière d'anticiper, de se mettre en projet : les savoir-être et savoir-devenir. Ces « compétences » qui sortent du giron des disciplines cloisonnées et purement académiques, qui sont également censées se développer toute la vie durant, qui font rarement l'objet d'un apprentissage formel... en prennent un statut de transversalité : compétences transversales, *fuzzy competences* ou encore compétences LLL (*LifeLong Learning*). L'Europe les définit dans son cadre de référence de 2006. Elles sont reliées à l'esprit critique, la créativité, l'initiative, la résolution de problèmes, l'évaluation des risques, la prise de décision...

Andreas Schleicher (OCDE) nous dit : *Nous vivons dans un monde en mutation rapide et reproduire les savoirs actuels et les compétences utiles ici et maintenant ne va pas suffire pour faire face aux défis du futur.*

Il y a une génération, un enseignant pouvait penser que ce qu'il enseignait à ses élèves allait les accompagner pendant toute une vie. Aujourd'hui, par la suite des changements rapides économiques, sociaux, nous avons à préparer nos étudiants pour des métiers qui n'existent pas encore, pour des technologies qui ne sont pas encore inventées et pour faire face à des problèmes dont nous n'imaginons même pas la venue.

Tout ceci est évidemment à mettre en rapport avec la disponibilité des savoirs de plus en plus externalisés. S'agit-il vraiment encore aujourd'hui de mémoriser tous les savoirs cristallisés disponibles sur la Wikipédia, la Khan Academy ou les MOOCs ou alors d'être capables de les convoquer en fonction des situations-problèmes rencontrées, des besoins d'informations identifiés ? Sans négliger les savoirs fondamentaux, s'agit-il dès lors de développer aussi et surtout ces compétences fluides qui nous permettent de trouver, de valider, d'interpréter, de communiquer ces savoirs... individuellement et collectivement ? xMOOC contre cMOOC ou alors complémentarité des approches, la question est posée ? Notre x-c-MOOC montre une forme de complémentarité systémique entre les savoirs (les ressources à disposition) et les compétences à exercer (proposer une synthèse sur son Blog, répondre à une question dans un forum, travailler en équipe pour animer une activité, critiquer un document...).

Des méthodes, un cheminement à organiser dans le temps et l'espace

Même si ces outils et ressources constituent un potentiel formidable et une condition nécessaire à l'apprentissage, ils sont donc loin d'être suffisants. Même si les formes traditionnelles que nous avons évoquées plus haut (cours, exercices, séminaires) demeurent les formes d'enseignement les plus répandues (il suffit, au-delà des discours, de le demander aux étudiant(e)s) et que ces méthodes peuvent être largement assumées voire automatisées par les technologies (un podcast du cours, un questionnaire en ligne, un forum de discussion) mettant ainsi en péril le « cœur de métier » de l'enseignement (que va-t-on faire des campus ?), **il serait regrettable voire coupable de s'en maintenir à cette situation de statut quo voire d'un entérinement collectif de cette fossilisation des pratiques pédagogiques.** Il y a longtemps déjà (à

l'époque d'un autre mirage technologique, l'EAO, l'enseignement Assisté par Ordinateur) des enseignants me demandaient fréquemment : Est-ce que vous pensez qu'un jour l'ordinateur va remplacer l'enseignant ? Et je leur répondais invariablement : il y a de grandes chances que **oui** ... si vous me posez une question pareille ! Les technologies quelque part nous libèrent (de notre devoir de transmission) mais nous condamnent à devenir intelligents, à retrouver un rôle d'accompagnateur d'apprentissage, à retrouver et à mettre en place des activités et interactivités fécondes pour l'apprentissage dans ces campus désormais annoncés en voie d'extinction... et c'est sans doute encore une question de formation des enseignants mais aussi une question de courage politique. Comment mettre en place les pratiques que nous préconisons dans des créneaux de 50 min dédiés à des disciplines cloisonnées ? Comment réfléchir à l'apprentissage toute la vie durant comme si ce dernier démarrait à 18 ans ou à 23 ans après des formations primaires, secondaires, supérieures ministériellement cloisonnées ? Comment mettre en place un laboratoire d'apprentissage dans des salles en gradin ou au mobilier attaché au sol ?

Agir autrement (c'est-à-dire miser gros et uniquement sur ces résurgences de l'enseignement traditionnel que sont les xMOOC ou même sur cette avalanche de ressources médiatisées offertes partout sur Internet) serait faire fi des attentes à la fois des individus et du monde socio-professionnel pour le développement des compétences transversales que nous avons appelées plus haut compétences LLL (*LifeLong Learning*), des usages même embryonnaires des fameux natifs numériques, et aussi de ne pas profiter du potentiel (j'insiste sur ce mot) offert par les ressources externalisées et indépendantes du temps et de l'espace...

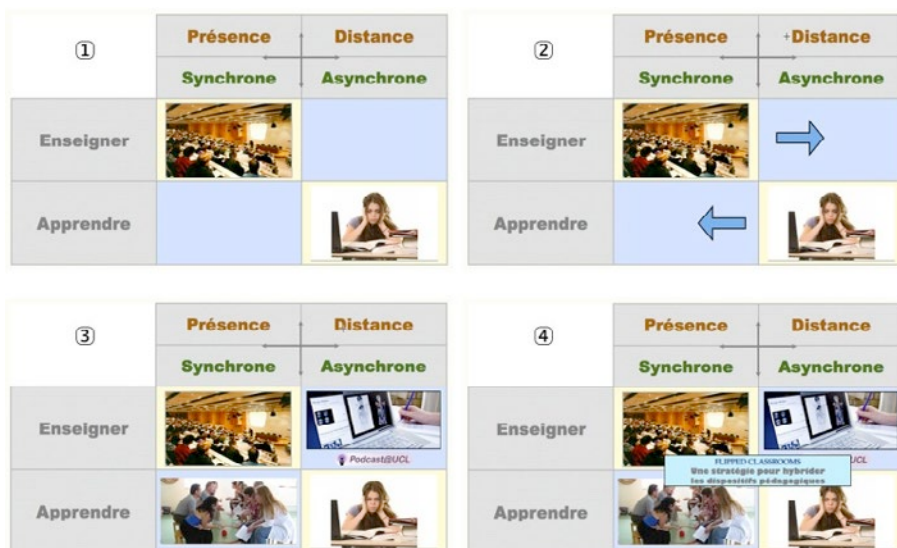
Enseigner c'est mettre en place des conditions dans lesquelles l'étudiant(e) pourra apprendre et cette constatation nous conduit à la nécessité d'organiser autour des médias et des outils dont nous avons parlé des espaces, des dispositifs pédagogiques (en présence, à distance, hybride) à hautes valeurs ajoutées pour l'apprentissage. **Et c'est là que se niche l'avenir des écoles et des campus.**

À cet égard, les classes inversées (*Flipped Classrooms*) sont intéressantes dans la combinaison qu'elles proposent entre présence et distance et entre les orientations centrées sur l'enseignement et ses ressources et celles centrées sur l'apprentissage et son ancrage dans les contextes.

Vers l'hybridation, à la recherche de tierces places

Mais que sont ces classes inversées (Lebrun & Lecoq, 2015) qui nous promettent d'allier ces ressources numériques désormais à distance et la volonté de redonner du sens à la présence ? La « distance » nous offrirait-elle une occasion de repenser la présence ? La numérisation rendrait-elle notre cerveau plus libre ?

Le concept originel, ou en tout cas l'appellation de *Flipped Classrooms*, est apparu vers 2007 quand deux enseignants en chimie dans l'équivalent de notre niveau secondaire, Jonathan Bergman et Aaron Sams, ont découvert le potentiel de vidéos (*PowerPoint* commentés, *Screencast*, *Podcast*...) pour motiver leurs élèves à préparer (à domicile ou plutôt hors classe) les leçons qui seront données en classe, en présence de « l'enseignant », afin de rendre ces dernières plus interactives : ***Lectures at Home and HomeWork in Class*** (les leçons à la maison et les devoirs en classe), le slogan était lancé. L'air de rien, cette méthode est à la fois une petite révolution par rapport à l'enseignement dit traditionnel (le magistral, l'enseignement *ex cathedra*) et une piste d'évolution acceptable et progressive (un dispositif hybride, Lebrun *et al.*, 2014) pour les enseignants qui souhaitent se diriger, sans négliger la transmission des savoirs, vers une formation davantage centrée sur l'apprenant, ses connaissances et ses compétences. Comme nous le voyons déjà, ces classes inversées repositionnent les espaces-temps traditionnels de l'enseigner-apprendre.



La figure ci-dessus nous montre le « flip » (l'inversion) à l'œuvre.

1. L'enseignement traditionnel transmissif se passe en classe ; les interactions et les activités des élèves y sont bien souvent limitées. Les devoirs se passent à la maison ainsi que la préparation des examens.
2. Le « flip » va agir reconsidérant les espaces-temps de l'enseigner-apprendre. Il s'agira de mieux occuper l'espace et le temps, d'accompagner une partie de l'apprentissage (mémorisation, compréhension...) hors de la classe et de rendre à cette dernière sa vocation liée à la rencontre, au caractère social de l'apprentissage.
3. La figure se complète : la partie transmissive (les nécessaires savoirs, les principes, les théories...) se déroule en dehors de la classe soit à la maison soit dans des lieux spécialement aménagés dans l'école ; l'espace et le temps de la classe proprement dite (de la rencontre avec l'enseignant) sont utilisés pour les activités et les interactivités.
4. L'hybridation (soutenue par le principe de variété dans les approches pédagogiques) mélange ces différents modes d'interaction. Les *Flipped Classrooms* ne sont pas présentées ici comme un mode unique de formation : tout au plus comme une alternative à d'autres méthodes, une configuration particulière.

Autour de ce concept de *Flipped Classrooms*, les variations sont aussi infinies et nous vous en proposons une définition large (une définition construite avec un de nos mémorants, Antoine Defise) :

Une « flipped classroom » ou « classe inversée » est une méthode (une stratégie) pédagogique où la partie transmissive de l'enseignement (exposé, consignes, protocole,...) se fait « à distance » en préalable à une séance en présence, notamment à l'aide des technologies (ex. : vidéo en ligne du cours, lecture de documents papier, préparation d'exercice,...) et où l'apprentissage basé sur les activités et les interactions se fait « en présence » (ex. : échanges entre l'enseignant et les étudiants et entre pairs, projet de groupe, activité de laboratoire, séminaire,...).

Clairement, les *Flipped Classrooms* évacuent, si on peut dire, la partie transmissive voire l'appropriation des savoirs, hors de la classe pour redonner à cette dernière son potentiel d'apprentissage et de co-apprentissage (pour ainsi redonner du sens à la présence). Il en résulte aussi une révision des statuts des savoirs (en particulier ceux de nature informelle), des rôles assumés par les étudiants et les enseignants... En outre, nul besoin de flipper tout son enseignement en une fois : une activité parmi d'autres, quelques semaines sur le quadrimestre. De quoi expérimenter et évoluer en douceur. Malgré l'origine initiale de la méthode, une *Flipped Classrooms*, ce n'est pas juste une vidéo avant le « cours » et du débat pendant le « cours ».

(Temps 1) Recherche d'informations, lecture d'un article, d'un chapitre, d'un blog..., préparation d'une thématique à exposer, interviews ou micro-trottoirs... à réaliser seul ou en groupe avant une séance en présentiel. Le résultat des investigations peut être déposé dans un dossier sur une plateforme, des avis, opinions, commentaires, questions... peuvent être déposés sur un forum, la vidéo réalisée peut être déposée sur YouTube...

(Temps 2) Présentation de la thématique, débat sur des articles lus, analyse argumentée du travail d'un autre groupe (évaluation par les pairs), création d'une carte conceptuelle commune à partir des avis, opinions, commentaires... récoltés, mini-colloque dans lequel un groupe présente et un autre organise le débat... pendant le moment (l'espace-temps) du présentiel...

Nous avons dès 2013 (Lebrun, 2013) élargi cette façon de voir la classe inversée originelle (les leçons à la maison et les devoirs en classe) en y adjoignant d'autres types d'activités en présence (en classe, en amphithéâtre...) et à distance (les élèves ou les étudiants investiguent les contextes – ressources matérielles et humaines – individuellement ou en groupe dans « l'école », dans des lieux spécialement aménagés, ou en dehors de celle-ci). Le lecteur intéressé par cette extension du concept se tournera avec profit vers ces articles récents (Lebrun, 2016) : *Classes inversées, retour sur un phénomène précurseur* (Octobre 2016) et *Les classes inversées, vers une approche systémique* (Novembre 2016). Un article récent accessible en ligne (Lebrun, Gilson & Goffinet, 2017) rassemble nos vues sur les classes inversées en y adjoignant des résultats de recherche à la fois sur une typologie de ces dernières et leurs effets sur l'apprentissage.

Les technologies nous libèrent des contraintes de l'espace et du temps (tel cours dans tel amphithéâtre à telle heure) mais, faute d'une approche intelligente, positive et humaniste, elles risquent aussi de les vider. On le sait depuis longtemps aussi : les plans d'équipements des écoles, de numérisation des ressources, d'automatisation de l'apprentissage... n'ont pas apporté les fruits espérés (en termes d'apprentissage, d'éducation, de culture...) : les recherches de Russell (2009) sur le NSD (*No Significant Difference*) montrent bien la vanité du propos... Chaque fois, c'est le facteur humain qui a été négligé et pas seulement la formation technique des étudiants et des enseignants : le numérique, l'apprentissage à l'ère numérique, ce n'est pas qu'une affaire d'infrastructures, d'outils et de ressources, pas seulement une affaire de méthodes et d'usages, c'est surtout une affaire de mentalité, d'état d'esprit et de culture.

Les outils : *fast learning* ou humanisation numérique

Comme à chaque apparition d'une nouvelle technologie, le mirage technologique opère. Mais où se trouve le virage pédagogique ?

Qu'il s'agisse d'outils (je pense au TBI, le tableau blanc interactif ou encore aux tablettes) ou de ressources (les *eBooks* ou les *podcasts*, ces véhicules de contenus), le charme opère, les enseignants (certains du moins) sont hypnotisés, les dirigeants sont séduits par cette « potion magique » qui tout à la

fois agira et à court terme sur et pour un enseignement du 21^{ème} siècle qui se cherche et qui donnera un lustre renouvelé aux citadelles du savoir confrontées à une intelligence collective qui trouve de plus en plus sa place dans la formation continuée et l'apprentissage toute la vie durant.

Pourtant, on sait depuis bien longtemps que les ressources disponibles (le livre existe depuis bien longtemps, est-ce que les enseignants utilisent ou ont utilisé vraiment les *textbooks* ?) ne suffisent pas pour apprendre, que les outils sont ambivalents et que leurs apports, leurs impacts et leurs valeurs ajoutées dépendent largement des usages qui en sont faits. Comme à chaque « nouvelle » technologie, les commentaires s'opposent entre « le côté clair et le côté obscur de la force ». S'agit-il de savoirs en boîte (du *fastlearning*) promus par les Super Campus d'une éducation devenue mondiale et dont les MOOC seraient les vitrines ? Ou d'un soubresaut médiatisé d'un enseignement *ex-cathedra* hérité d'une époque où la lecture était la seule voie de la transmission ? Ou encore de la préparation en douce d'un guet-apens économique qui surviendra lorsque les modèles financiers seront révélés aux naïfs séduits par la gratuité toute temporaire de ces opérations pseudo-philanthropiques ? Ou alors, plus positivement, dans la lignée de l'intelligence collective, des communautés d'apprentissage et de pratiques, s'agirait-il d'une occasion historique de construire ensemble un nouvel humanisme numérique dont les apprenants (nous tous) seraient les apprentis ? **Une occasion de restaurer l'humain, ses contextes et ses cultures, au sein des savoirs normalisés de la Science universelle** (on n'est pas loin de l'opposition stérile entre savoirs et compétences, entre monde des idées et monde des expériences concrètes et des vécus) ?

Serions-nous des binaires séduits par le confort des propos extrêmes et réticents à vivre dans l'incertitude ? Perdons-nous si facilement la mémoire de la stérilité de ces polarisations caricaturales ? Nous l'avons dit : déjà Socrate, à propos de l'écriture, une fabuleuse invention de Thot, le dieu des technologues, se montrait méfiant par rapport à cette technologie en évoquant le *pharmakon* : ces technologies sont tout à la fois un poison et un remède. Plus récemment, Michel Serres, parlant de l'externalisation de notre mémoire sur les artefacts mobiles, disait : **On n'a pas le cerveau vide, on a le cerveau libre !** C'est donc à imaginer des tierces places que nous devons travailler. Au-delà de l'ambivalence de l'outil, les technologies sont et resteront des potentiels qu'il revient aux humains d'activer et de socialiser.

Les MOOC, tout en étant un potentiel formidable pour l'apprentissage, ne peuvent en garantir la qualité, la profondeur, le transfert. Richard Clark en 1983 disait déjà à propos des médias : Pas plus que le camion qui amène les victuailles au Supermarché ne peut améliorer la santé d'une population... les médias ne peuvent *de facto* apporter des valeurs ajoutées à l'apprentissage. La relation entre enseigner et apprendre est systémique, non linéaire. C'est par le dispositif construit « autour des ressources », un dispositif constitué d'outils certes mais aussi d'activités signifiantes et d'interactivités éducatrices, c'est par la formation des étudiants et des enseignants tous apprenants, qu'apparaîtront les valeurs ajoutées attendues des technologies. Et c'est une affaire de longue haleine.

Références

- Bergmann, J., et Sams A. (2012). *Flip Your Classroom: Reach Every Student in Every Class Every Day*. Washington DC: International Society for Technology in Education.
- BIGGS, J. (2003). *Teaching for quality learning at University*. Berkshire: Open University Press and Mac Graw Hill.
- CLARK, R.E. (1983). Reconsidering research on learning from media. *Review of Educational Research*. Vol. 17(2), p. 92-101
- GILLIOT, J-M. *et al.* (2013). Le concept de iMOOC pour une ouverture maîtrisée. *EIAH-2013*. En ligne <http://ateliermooceiah2013.files.wordpress.com/2013/05/gilliot.pdf>, consulté le 21 mars 2017.
- LEBRUN, M. (2011). Impacts des TIC sur la qualité des apprentissages des étudiants et le développement professionnel des enseignants : vers une approche systémique. *Sticef.org*, 18, 20. En ligne <http://bit.ly/STICEF-Lebrun>, consulté le 21 mars 2017.
- LEBRUN, M. (2013). Classes Inversées, étendons et « systémisons » le concept !

- Essai de modélisation et de systémisation du concept de Classes inversées. *Blog de Marcel*. En ligne <http://bit.ly/CI-Modele>, consulté le 21 mars 2017.
- LEBRUN, M., PELTIER, C., PERAYA, D., BURTON, R. & MANCUSO, G. (2014). Un nouveau regard sur la typologie des dispositifs hybrides de formation. *Education & Formation*, e-301, 55- 74. En ligne <http://bit.ly/EducationFormationHybride>, consulté le 21 mars 2017.
- LEBRUN, M. & LECOQ, J. (2015). Classes inversées, Enseigner et apprendre à l'endroit ! *Maîtriser, Réseau Canopé*.
- LEBRUN, M. (2016). Classes inversées, retour sur un phénomène précurseur (Octobre 2016) et Les classes inversées, vers une approche systémique (Novembre 2016). *The Conversation*. En ligne <http://bit.ly/Cycle-CI>, consulté le 21 mars 2017.
- LEBRUN, M., GILSON, C. & GOFFINET, C. (2017). Vers une typologie des classes inversées
- Contribution à une typologie des classes inversées : éléments descriptifs de différents types, configurations pédagogiques et effets. *Education & Formation*, e-307. En ligne <http://revueeducationformation.be/>, consulté le 21 mars 2017.
- OCDE (2015). *Connectés pour apprendre ? Les élèves et les nouvelles technologies*. En ligne <http://bit.ly/Connect-OCDE>, consulté le 21 mars 2017.
- RUSSELL, T.L. (2009). *The no significant difference phenomenon*. Chapel Hill, NC: Office of Instructional Telecommunications, North Carolina State University. En ligne <http://www.nosignificantdifference.org/>, consulté le 21 mars 2017.
- SIEMENS, G. (2004). *Connectivism: a learning theory for the digital age*. En ligne <http://www.elearnspace.org/Articles/connectivism.htm>, consulté le 21 mars 2017.
- TARDIF, J. (2006). *L'évaluation des compétences : Documenter le parcours de développement*. Montréal : Chenelière Éducation.

XXXIV UNIVERSITAT D'ESTIU D'ANDORRA
DEL 4 AL 7 DE SETEMBRE DEL 2017

Sessió del 5 de setembre del 2017

**BIENVENUE DANS L'ÈRE DU
« JANUS NUMÉRIQUE » :
FORMIDABLE OUTIL DE DÉVELOPPEMENT
ET ARME OFFENSIVE SURPUISSANTE**

Nicolas Arpagian

Director científic del cicle «Seguretat digital»
a l'Institut Nacional d'Alts Estudis de la Seguretat i de la Justícia (INHESJ)
Director de l'estratègia d'Orange Cyberdefense

Director científico del ciclo «Seguridad digital» en el INHESJ.
Director de estrategia de Orange Cyberdefense

Directeur scientifique du cycle « Sécurité numérique » a l'INHESJ.
Directeur de stratégie d'Orange Cyberdefense

Per citar aquest article / Para citar este artículo / Pour citer cet article :

ARPAGIAN, Nicolas. « Bienvenue dans l'ère du "Janus numérique" : formidable outil de développement et arme offensive surpuissante » [en línia], a: Universitat d'Estiu d'Andorra (34a : 4 - 7 set., 2017 : Andorra la Vella). *Tecnologia i humanitat, llums i ombres = Tecnología y humanidad, luces y sombras = Technologie et humanité, lumières et ombres*. Andorra: Govern d'Andorra. Ministeri d'Educació i Ensenyament Superior. Universitat d'Estiu d'Andorra, 2018, p. 49-56 (978-99920-0-857-7) <<http://www.universitatestiu.ad/UEA2017>>

La consommation numérique est universelle : elle affecte toutes les générations, ignore largement les frontières géographiques et se joue des anciennes barrières qui voulaient que les sphères privées et professionnelles ou que les mondes civils et militaires soient considérés de manière fort distincte. Les processus de création et de diffusion de la connaissance se trouvent remis en cause. Avec l'avènement d'une logique de plus en plus coopérative et la difficulté à faire valoir les droits historiques de la propriété intellectuelle dès lors que les informations s'échangent et se partagent à l'échelle planétaire sans véritables obstacles techniques. Les créatifs se trouvent en position défensives, misant sur une combinaison de technologies et de droit pour obtenir le pistage de leurs œuvres artistiques ou techniques et le respect de leurs droits d'auteur. Ce qui veulent accéder à l'information à valeur ajoutée (films, romans, chansons, articles de presse ou analyses à usage professionnel) ayant de plus en plus de difficultés à concevoir la nécessité de rémunérer ce travail de l'esprit. Persistant à croire que sa duplication sans frais n'affecte pas le patrimoine de son auteur légitime. Même si les offres d'abonnements comme Netflix, Deezer ou Spotify commencent à inculquer la notion de prix – on ne parle pas encore de valeur – de ces fichiers informatiques qui sont désormais le support de notre consommation numérique.

La transformation numérique est une dynamique de haute intensité : sans réelle formation préalable les consommateurs se sont saisis de leurs smartphones et de leurs connexions haut débit pour ponctuer leurs décisions quotidiennes : chercher un avis sur un artisan, effectuer des transferts bancaires, correspondre avec leurs proches, se renseigner sur une maladie, préparer un voyage, rencontrer l'âme sœur ou postuler à un nouvel emploi. Le réseau des réseaux s'est donc imposé comme la porte d'entrée naturelle pour débiter la plupart des activités humaines. Au point que cette consultation en direct des informations disponibles à tous moments sur la Toile devient un préalable qui se retrouve dans nombre de démarches de la vie professionnelle.

Dans le même temps, les instances économiques, administratives et même militaires ont généralisé la numérisation de leurs processus internes. Les systèmes d'information devenant à la fois la colonne vertébrale qui soutient l'architecture des organisations et les muscles qui les animent et permettent de déployer des activités génératrices de richesses. Dans l'industrie, cette automatisation a été largement envisagée dès son origine pour réduire les coûts

liés à l'activité humaine et accélérer les cadences de production. Chacun appréciait de pouvoir compter sur ces équipements qui ne connaissaient pas la fatigue, ignoraient les limitations d'horaires et assuraient une prestation constante. C'est ainsi que l'informatisation s'est propagée dans l'ensemble des secteurs d'activité jusqu'à atteindre les entités les plus petites. Autant d'atouts pour la compétitivité et une meilleure rentabilité.

Ce phénomène s'est reproduit dans l'ensemble des économies industrialisées et a gagné les pays en développement quand ceux-ci ont fait la bascule vers les technologies numériques après avoir souvent ignoré les phases de transition technique. C'est l'intérêt pour les communautés qui accèdent plus tardivement à l'essor économique que de pouvoir s'appuyer sur les outils les plus récents. Par exemple en Afrique, des zones non pourvues de téléphones filaires se sont ainsi retrouvées couvertes par la téléphonie mobile, permettant l'émergence d'une économie de services autour des smartphones qui se sont multipliés de manière fulgurante dans le grand public.

Il faut avoir à l'esprit cet important déploiement numérique auprès des populations et des acteurs économiques, avec à la clé les nombreuses opportunités de développement qu'il peut susciter, pour prendre conscience de la montée en puissance concomitante du risque numérique.

Dès lors que le nombre d'utilisateurs se démultiplie et que ces derniers confient de plus en plus d'informations à ces équipements, l'exposition au risque croît de manière exponentielle. Car les données peuvent avoir de la valeur dès lors qu'elles concernent un individu ciblé préalablement identifié par un commanditaire. Ou s'il s'agit d'une quantité conséquente d'informations précises, homogènes et récentes. Par exemple, celles qui sont stockées dans les banques concernant les identités, adresses, situations professionnelles, états de santé et patrimoniaux des clients. Dans ce cas, les pirates ne vont généralement pas viser tel ou tel client nommément mais bien chercher à capter la masse cumulée de la clientèle de l'établissement qu'ils ont en ligne de mire. Comme les hôteliers ou les éditeurs de musique qui ont dû revoir leur modèle économique à l'aune des nouveaux usages numériques, la criminalité organisée a adopté la même démarche. Au point que toutes les infractions connues de longue date dans le monde physique : escroquerie, vol, usurpation d'identité, chantage, concurrence déloyale... connaissent des déclinaisons sur le Net. Avec cependant quelques particularités qui donnent toutes les raisons de la voir proliférer encore plus intensément au cours des années à venir.

Le terrain d'affrontement est largement international, pour ne pas dire planétaire. En effet, l'interconnexion des systèmes redessine le principe des frontières géographiques. Puisque la capacité virale des logiciels malveillants qui se reproduisent et circulent sur les réseaux explique certains scores impressionnants attribués à des outils de chiffrement frauduleux comme Wannacry au printemps 2017 : des centaines de milliers d'ordinateurs infectés répartis dans des dizaines de pays. La présence d'équipements similaires dans les entreprises et les collectivités publiques sert aux pirates qui peuvent capitaliser sur l'exploitation de ces infrastructures dès lors qu'ils connaissent les failles qui les fragilisent. On constate ainsi des attaques de dimension industrielle qui tirent parti de cette relative uniformité technique. Ici c'est bien la nature commune des installations informatiques, machines ou logiciels, qui servira de vecteur d'amplification d'une crise numérique.

Cela signifie que l'infection peut circuler via de nombreux territoires et entités – à leurs corps défendants – avant d'atteindre leur but initial. Les investigations a posteriori prendront d'autant plus de temps qu'il faudra reconstituer tel un jeu de pistes le cheminement du malicieux. Mettant à contribution plus ou moins volontaire autant de systèmes juridiques et judiciaires pas toujours très coopératifs.

Des entités subiront des attaques non car elles sont visées spécifiquement mais parce que celui qui est la manœuvre a repéré les caractéristiques du système en place et maîtrise les moyens d'y accéder. Cela modifie la notion d'affrontement : les parties prenantes peuvent ne pas se connaître et n'avoir aucun passé commun ou de contentieux en cours. Ce qui complique d'autant les investigations qui ne pourront reposer que sur des éléments techniques et pas sur un contexte social.

Les organisations ciblées peuvent en outre ignorer les opérations offensives dont elles ont fait l'objet, si elles ne disposent pas d'outils de supervision leur permettant d'entretenir un niveau de surveillance périmétrique pertinent. À l'instar d'une personne qui serait paisible faute de savoir que quelqu'un a visité sa maison en son absence sans rien y déranger. Les pertes causées par l'atteinte aux systèmes d'information peuvent naître d'une interception, d'un blocage et même d'une simple copie des données qui y sont stockées ou échangées.

Cette pluralité de risques oblige les acteurs économiques et institutionnels à disposer d'une connaissance fine et à jour des données dont ils sont détenteurs. Afin de leur attribuer des politiques d'accès qui soient adaptées aux

responsabilités effectives des personnes amenées à consulter, modifier, partager voire supprimer lesdites données. Cette politique de gestion des identités ne doit pas être envisagée dans sa seule perspective sécuritaire mais bien comme une démarche de création de valeur à l'heure de la transformation numérique : connaître les actifs informationnels dont on dispose et identifier celles et ceux qui peuvent en disposer.

La numérisation croissante des modes de production ou de commercialisation doit s'accompagner d'une stratégie de cybersécurité. Afin que les gains générés par l'adoption de ces technologies ne soient pas laminés par un accroissement des risques encourus par l'ensemble de la nouvelle architecture. Il convient donc d'intégrer au fur et à mesure les dispositifs permettant de préserver la durabilité des communications et des données ainsi produites. Cette approche doit être complétée par une politique visant à permettre la résilience de l'ensemble de l'activité : des processus de sauvegarde des informations, des solutions de remplacement et des entraînements des équipes à fonctionner dans un environnement dégradé sont autant d'atouts pour réduire l'impact d'une cyberattaque qui ne pourrait être empêchée. Soit car elle s'appuie sur des négligences ou complicités internes, soit parce qu'elle emploie des codes non encore répertoriés ou des failles techniques non documentées, que l'on désigne sous le nom explicite de « Zero Day ». Un marché occulte de tels moyens d'attaque est accessible sur des plateformes d'échanges ou auprès de prestataires qui commercialisent ces outils malveillants dont le prix vient précisément de leur caractère inconnu. Cela signifie donc que celui qui va concevoir le code offensif peut être – et c'est largement le cas – sans lien avec celui qui va l'utiliser effectivement et sans rapport avec celui qui tirera profit finalement de l'agression numérique. Les concepteurs, les bras armés et les commanditaires peuvent ne s'être jamais rencontrés, vivre dans des contrées éloignées à l'extrême et tout ignorer les uns des autres. Cela complique d'autant la tâche des services d'enquête qui se trouvent en sus très dépendants de la qualité et de la rapidité de la coopération policière et judiciaire internationale. Ici le facteur temps est crucial : il suffit de quelques secondes pour transférer des fichiers d'un pays à un autre, tandis que les policiers compteront au mieux en semaine pour obtenir les réponses à leurs requêtes. Des exceptions existent évidemment mais le décalage des agendas reste extrêmement défavorable aux victimes. Qui en outre peuvent mettre un certain temps à prendre conscience qu'elles ont fait l'objet d'un piratage informatique.

Le numérique trouve désormais sa place dans les outils les plus innocents du quotidien dont la puissance de calcul et la capacité de connexion peuvent être mises à contribution pour déstabiliser par exemple un site Internet. C'est le cas des objets connectés, comme ces caméras domestiques en vente dans les grandes surfaces pour surveiller son domicile ou son jardin. Rarement protégées de manière ad hoc, elles font souvent l'actualité par leur mobilisation massive qui conduit à paralyser un site Internet : le pirate sollicite une très grande quantité de ces appareils connectés mais trop souvent dénués de sécurité et obtient la saturation du site Internet qui doit faire face à ce trop-plein de connexions simultanées.

Mais dans de nombreux cas, les assaillants ne misent pas sur la seule technique mais lui préfèrent l'ingénierie sociale. Grâce aux nombreuses informations variées et à jour, que les internautes publient sur les réseaux sociaux personnels et professionnels, il devient aisé de disposer d'un portrait étayé d'un nombre conséquent de nos contemporains. Et si ces derniers exercent des responsabilités économiques ou administratives ces profils très complets servent à conduire des opérations d'usurpation d'identité, des fraudes et autres escroqueries au président. Il s'agit ici de tromper son interlocuteur en lui faisant croire que l'on est la personne autorisée à lui demander, par exemple, à procéder à un virement financier. Au final, la victime va exécuter de bonne foi le transfert des fonds sur la base d'une histoire suffisamment crédible pour l'amener à se délester elle-même des sommes demandées. Un usage habile de la psychologie humaine à l'heure de la technologie généralisée.

Cette méthode fonctionne également quand les informations recueillies permettent de rédiger des messages qui revêtent tous les aspects de la réalité. Et qu'en cliquant sereinement sur un lien ou une pièce jointe une personne infecte à son insu son ordinateur ou son smartphone. Car ces appareils mobiles sont plus que jamais des cibles privilégiées alors que la consommation numérique s'exerce désormais à plus de 50% sur ces appareils (smartphones, tablettes, ordinateurs portables). Leurs écrans sont plus petits qu'un ordinateur de bureau ce qui rend plus difficile la détection à l'œil de messages frauduleux et leur protection de base par un simple antivirus est rarissime. Ils concentrent en outre l'ensemble des données à haute valeur ajoutée : éléments de géolocalisation, contacts, correspondances des e-mails et des SMS, photos, identifiants de connexion aux applications notamment bancaires, messageries

professionnelles... Une vraie mine d'or pour les pirates qui adaptent désormais leurs logiciels malveillants à l'ergonomie des smartphones.

Il ne s'agit certainement pas de verser dans une paranoïa technologique qui conduirait à un rejet des opportunités et des services offerts par l'innovation numérique. Mais de diffuser une culture de sécurité afin de réduire l'exposition au risque, limiter l'impact d'éventuelles attaques et permettre un retour à une situation normale dans les meilleures conditions.

On ne doit pas faire l'économie de cette maturité d'usage face à la société numérique qui s'annonce. C'est une condition nécessaire à une consommation maîtrisée et éclairée de ces équipements qui se déploient dans l'ensemble des déclinaisons de nos existences. Les citoyens que nous sommes méritons d'être des sujets exigeants et autonomes face à ces canevas techniques qui modèlent notre perception du monde. Afin de ne pas être cantonné au statut peu enviable d'objets, dépendants des règles d'emploi décidées par des esprits pas forcément bienveillants.

XXXIV UNIVERSITAT D'ESTIU D'ANDORRA
DEL 4 AL 7 DE SETEMBRE DEL 2017

Sessió del 6 de setembre del 2017

**NOUS N'AVONS QU'UNE SEULE PLANÈTE —
L'INNOVATION DANS LES SYSTÈMES ALIMENTAIRES
POUR FAIRE FACE AUX DÉFIS PLANÉTAIRES**

Olivier Le Gall

Enginyer agrònom i doctor en biologia
Institut Nacional de la Recerca Agronòmica (INRA)

Ingeniero agrónomo y doctor en biología
Instituto Nacional de la Investigación Agronómica (INRA)

Ingénieur agronome et docteur en biologie
Institut National de la Recherche Agronomique (INRA)

Per citar aquest article / Para citar este artículo / Pour citer cet article :

LE GALL, Olivier. « Nous n'avons qu'une seule planète – L'innovation dans les systèmes alimentaires pour faire face aux défis planétaires » [en línia], a: Universitat d'Estiu d'Andorra (34a : 4 - 7 set., 2017 : Andorra la Vella). *Tecnologia i humanitat, llums i ombres = Tecnología y humanidad, luces y sombras = Technologie et humanité, lumières et ombres*. Andorra: Govern d'Andorra. Ministeri d'Educació i Ensenyament Superior. Universitat d'Estiu d'Andorra, 2018, p. 57-82 (978-99920-0-857-7) <<http://www.universitatestiu.ad/UEA2017>>

S'alimenter est l'un de nos besoins les plus fondamentaux. Même si cela nous ramène – désagréablement ? – à notre animalité, on conçoit aisément que face aux défis auxquels fait face la planète, l'alimentation a une place particulière. Imaginons un instant que nous, humains, décidions à l'extrême limite de tout arrêter (transports, communications, et même éducation, etc.) : un tel sevrage d'humanité serait sans aucun doute insurmontable pour chacun et collectivement. Et pourtant même ainsi, il est un besoin auquel on n'échappera pas : s'alimenter. Refermons cette brève escapade dans un monde apocalyptique heureusement virtuel aujourd'hui, et revenons dans notre monde de confort et de progrès, pour mieux réaliser que notre mode de vie citoyen tend à nous faire oublier ou en tout cas négliger notre relation primordiale à l'alimentation.

L'exigence alimentaire conditionne plus que tout l'organisation des sociétés humaines. Cela a toujours été un objet d'innovation et un moteur de l'innovation : c'est pour s'alimenter que l'humanité a « inventé » le commerce, l'agriculture, et même probablement le langage. *A contrario*, les difficultés d'accès à la ressource alimentaire ont toujours été un objet de fractures, de révolutions et de guerres. Il y a un enjeu de paix à accorder aux systèmes alimentaires toute la place qu'ils méritent dans notre esprit. C'est particulièrement crucial à notre époque où l'Humanité, et même la planète, font face à des défis sans précédents connus, qui appellent impérativement à des transitions dont on sait qu'elles ne seront pas aisées à engager collectivement.

Les systèmes alimentaires, de l'environnement à la santé, face à des défis sans précédent

Tout d'abord, pour aborder cette question, il nous faut poser que c'est un système très cohérent qui doit s'engager dans ces transitions. Amont (agriculture, environnement, climat) et aval (transformation, approvisionnement, nutrition, santé) font système : ce système que nous appellerons par la suite « système alimentaire » (« food system » en anglais). Les solutions à des questions posées dans un des compartiments du système alimentaire trouvent souvent une solution dans un autre compartiment. Inversement, les externalités d'un des compartiments posent fréquemment des questions dans les autres compartiments. Il ne faut surtout pas les opposer malgré la tendance générale (les agriculteurs

seraient des pollueurs, alors même qu'ils nous nourrissent) ; il faut même les mettre en solidarité et en synergie parce que c'est l'ensemble du système qui entre dans des cycles qui peuvent être vertueux ou vicieux. L'évaluation internationale de la connaissance, la science et la technologie en agriculture pour le développement (*International Assessment of Agricultural Knowledge, Science and Technology for Development, IAASTD*¹) le rappelait en 2009, en évoquant l'interconnexion inévitable des rôles et des fonctions de l'agriculture (« *The inescapable interconnectedness of agriculture's roles and functions* »).

En ce début de troisième millénaire, les systèmes alimentaires font face à des défis planétaires sans précédents : sociaux, économiques, environnementaux et notamment climatiques.

Des défis sociaux d'abord. La population humaine est en forte croissance. Les démographes prévoient que cette croissance ne va se stabiliser que dans plusieurs décennies durant lesquelles, après l'Asie aujourd'hui, c'est l'Afrique qui verra sa population croître rapidement. En 2009, l'organisation des Nations Unies pour l'agriculture et l'alimentation (FAO) prévoyait la nécessité d'un accroissement de 70% de la disponibilité alimentaire d'ici à 2050². Cette croissance s'effectue dans un contexte à la fois de globalisation et d'accroissement des disparités locales, sources de tensions sociales. L'exode rural se généralise au niveau planétaire : comme nous l'avons connu en Europe depuis la révolution industrielle et notamment au ^{xx}e siècle, de moins en moins de mains doivent nourrir de plus en plus de bouches.

Des défis économiques ensuite. La part de l'alimentation dans le budget des ménages a diminué environ de moitié en deux générations selon l'INSEE³. Cela est le résultat d'une concentration des activités de production, de transformation et de distribution de l'offre alimentaire : grandes exploitations en monoculture, multinationales alimentaires, grande distribution. Difficile d'imaginer, quand on voit une publicité pour de la viande de porc à un prix dérisoire, que pour cela un éleveur a trouvé moyen de vivre dignement, et que les porcs ont été élevés dans les standards minimaux de bien-être animal. Si

1 Agriculture at a crossroads: synthesis report ; <http://hdl.handle.net/20.500.11822/7862>

2 Comment Nourrir le Monde en 2050 ; <http://www.fao.org/wsfs/forum2050/wsfs-forum/fr/>

3 « Cinquante ans de consommation alimentaire : une croissance modérée, mais de profonds changements » <https://www.insee.fr/fr/statistiques/1379769>

un ré-équilibre des approvisionnements vers plus de « locavorie » est souhaitable pour éviter des transports inutiles et stimuler les économies locales et le tissu humain qui les sous-tend, un rapide calcul indique que pour nourrir les 12 millions d'habitants de l'agglomération parisienne, il faudrait six fois la surface agricole de l'Île-de-France : les productions locales ne suffisent déjà plus pour nourrir des métropoles toujours plus gigantesques (et Paris n'est ni la plus grande des métropoles, ni celle qui est située dans la région la moins cultivable du monde !). De surcroît, l'interrogation croît quant à l'usage de terres arables pour un usage non-alimentaire : un questionnement légitime mais qu'il faut remettre dans son contexte. Outre qu'une partie importante de la production agricole n'est pas directement destinée à l'alimentation de première nécessité mais à l'alimentation « plaisir » (par exemple les vignobles), de tout temps l'agriculture a produit d'autres denrées qu'alimentaires. La règle des quatre F (« *food-feed-fiber-fuel* » pour « nourriture humaine et animale, fibres, énergie ») se traduit mal en français mais se perpétue dans le temps : une partie importante des surfaces cultivées sert toujours à l'alimentation animale, à la production de biomatériaux plus diversifiés aujourd'hui qu'hier, ou à la production de biocarburants (autrefois, une partie importante de la production était destinée aux animaux de travail et de transport).

Des défis environnementaux enfin. Alors que les systèmes alimentaires contribuent largement à l'empreinte écologique de l'Humanité, nos sociétés prennent conscience de la valeur de l'environnement (mais pas toujours de la place qu'a joué l'agriculture pour le façonner). La crise de la biodiversité est sans doute la première dont nous ayons pris conscience, dans la seconde moitié du siècle dernier, et cette conscience a émergé en partie *via* un livre qui mettait en cause l'agriculture et notamment l'usage de pesticides, « *Silent Spring* », de Rachel Carson (1962). Cependant, les intrants chimiques ne sont pas la seule voie par laquelle la production alimentaire impacte la biodiversité : de manière générale aucune pratique agricole n'est neutre pour l'environnement, y compris les moins intensives. La recherche d'un équilibre entre préserver les espaces et les partager (« *land sparing* » vs. « *land sharing* ») entre production et biodiversité, entre produire de manière plus intensive en préservant des espaces naturels, ou plus extensive en préservant de la biodiversité dans les zones cultivées, relève d'un choix stratégique et politique crucial bien que rarement explicite. En fait, collectivement on voudrait les deux !

Parmi ces défis, une place particulière pour la crise climatique

Parmi les défis environnementaux, la crise climatique est particulièrement préoccupante. Du fait de leur place centrale dans la vie de nos sociétés, il n'est pas étonnant que les systèmes alimentaires subissent le dérèglement climatique et que d'autre part ils y contribuent ; en réalité ils peuvent faire partie des solutions, comme on le verra plus loin. Il convient donc d'innover pour les adapter aux excès climatiques à venir, pour atténuer leur potentiel d'émission de gaz à effets de serre, et – c'est encore plus ambitieux – de « miner » le dioxyde de carbone atmosphérique au profit des cultures et de l'enrichissement durable des sols en matières organiques.

Les aléas climatiques ont toujours mis en danger la production agricole et l'équilibre de la société, de même que les invasions biologiques l'ont fait principalement dans la période post-colombienne⁴. Les climatologues prévoient, et c'est ce qu'on observe déjà, non seulement un réchauffement global de la planète mais aussi, et c'est ce qui aura sans doute l'impact le plus fort sur l'agriculture, une augmentation de la fréquence et de la gravité de ces aléas climatiques : sécheresses, gels, tempêtes, etc. La Lloyd's of London a publié en 2015⁵ une analyse économique des conséquences possibles de ces crises liées aux aléas climatiques, qui montrait à quel point l'effet amplificateur des marchés sur les fluctuations de disponibilité des produits alimentaires pourrait induire des effets catastrophiques sur les prix des denrées alimentaires – notamment le riz –, et en cascade des risques d'émeutes et de chocs boursiers. C'est une urgence que de s'adapter à ce dérèglement en grande partie inéluctable aujourd'hui, et pour cela d'imaginer des systèmes alimentaires plus résilients dans chaque région du monde et globalement.

4 Il n'y a qu'à songer à la grande famine en Irlande au milieu du XIX^e siècle, causée par une épidémie foudroyante de mildiou de la pomme de terre (*Phytophthora infestans*) débarqué du Nouveau Monde dans une société britannique mal organisée pour y résister, qui a provoqué une mortalité et une émigration massives ; 170 ans plus tard, l'Irlande est toujours loin d'avoir retrouvé sa population du début du XIX^e siècle. Sans compter qu'aujourd'hui encore, le mildiou de la pomme de terre est un des « grands comptes » en ce qui concerne l'usage de pesticides.

5 Food system shock: The insurance impacts of acute disruption to global food supply ; <https://www.lloyds.com/news-and-insight/risk-insight/library/society-and-security/food-system-shock>

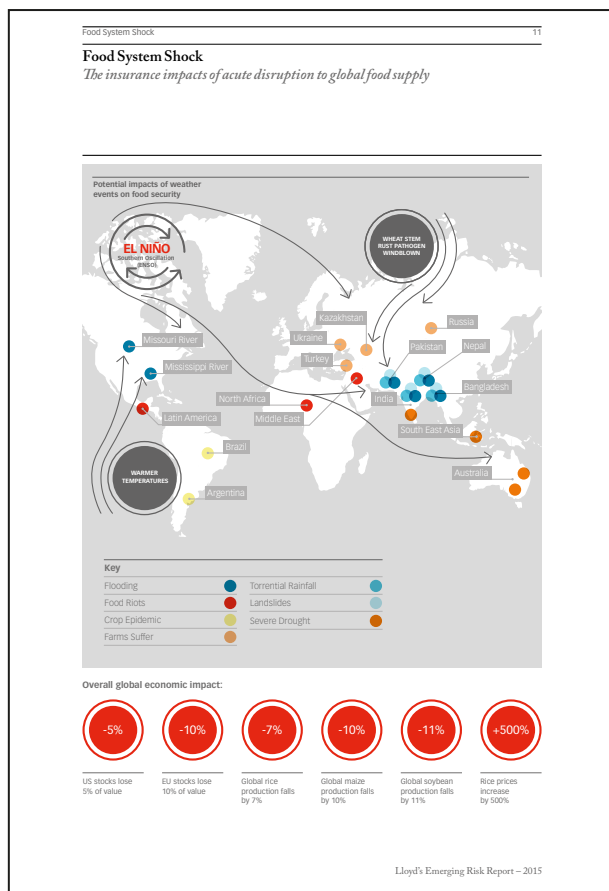


Figure 1 : les impacts d'une crise aigüe sur les approvisionnements globaux de nourriture.
Source : Lloyd's of London

À l'inverse, les systèmes alimentaires sont une source importante de gaz à effets de serre (GES), notamment au travers de l'agriculture et dans une moindre mesure du transport des denrées. L'agriculture se caractérise, parmi les autres activités humaines, par la diversité des GES qu'elle émet⁶ : un tiers environ des GES, avec des parts sensiblement égales venant du dioxyde de carbone (CO₂), du méthane (CH₄) et de l'oxyde nitreux (N₂O). Plus précisément,

6 Baumert, K.A., Herzog, T., and Pershing, J. (2005). Navigating the numbers: greenhouse gas data and international climate policy (Washington, D.C: World Resources Institute) <https://www.wri.org/publication/navigating-numbers> & <https://www.wri.org/resources/charts-graphs/world-greenhouse-gas-emissions-2005>

les changements d'affectation des sols (principalement la déforestation) provoquent l'émission de 10% du CO₂ d'origine anthropique : il faut réguler les changements d'affectation des sols par exemple en contrôlant l'urbanisme et sa voracité de terres arables, et aussi renverser la tendance à la déforestation (on revient à l'équilibre entre land sparing et land sharing évoqué précédemment). L'élevage de ruminants et la riziculture, par deux processus différents, provoquent l'émission de la moitié du CH₄ d'origine anthropique : il faut limiter ces émissions par une alimentation adaptée des ruminants, ou la récupération du CH₄ dans les élevages avant sa dispersion dans l'atmosphère. Enfin la fertilisation azotée provoque l'émission de 90% d'origine anthropique de N₂O : il faut travailler sur le cycle de l'azote dans le sol, et utiliser des légumineuses dans les rotations (ce qui implique d'identifier un marché pour en commercialiser les récoltes).

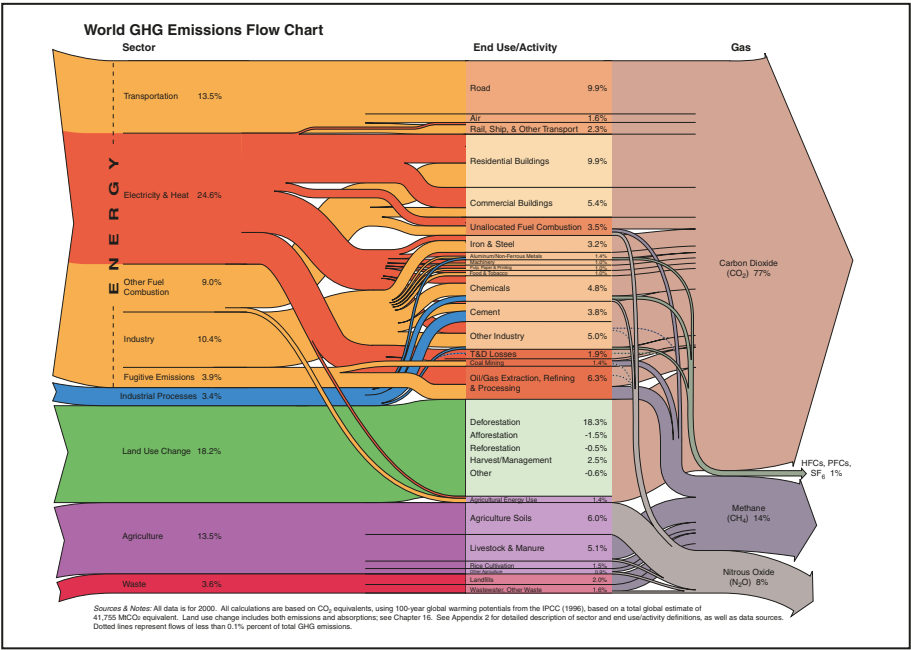


Figure 2 : émissions mondiales de gaz à effet de serre (données 2000 normalisées en équivalents CO₂), par secteur d'activité. Source : World Resources Institute ;
 Note : l'actualisation 2012 de l'estimation ne montre pas de changement significatif

Au-delà de la « simple » atténuation de l'émission des GES liés aux systèmes alimentaires (pas si simple en réalité...), les terres arables et les forêts peuvent

contribuer à séquestrer le carbone atmosphérique dont l'excès cause l'effet de serre. Il y a même là un enjeu « gagnant-gagnant ». La production primaire sur notre planète, dans laquelle s'inscrit l'agriculture, repose fondamentalement sur la transformation du CO₂ atmosphérique en biomasse et en matière organique sous l'effet de l'énergie solaire. Un agronome peut donc légitimement considérer l'excès de CO₂ atmosphérique comme une « mine gazeuse à ciel ouvert », dont il pourrait tirer utilement profit pour compenser partiellement les pertes de rendements qu'il constate suite au dérèglement climatique, et pour enrichir durablement les sols en matière organique. Un calcul simple indique que si les sols capturaient chaque année dans l'atmosphère 0,4% de leur teneur en carbone, cela équilibrerait les émissions actuelles de GES d'origine anthropique (tous secteurs confondus). C'est le sens de l'initiative mondiale « 4 pour 1000 »⁷ que la France a initiée dans le sillage de la 21^{ème} conférence des parties sur le climat (COP21) qui s'était tenue à Paris.

Ce n'est bien entendu pas si simple. Les difficultés sont à la hauteur des enjeux, c'est-à-dire grandes, parce que si l'on peut assez facilement établir les pratiques les mieux adaptées pour séquestrer localement du CO₂, encore faut-il que ces pratiques aient une viabilité économique pour qu'elles soient adoptées : dans certains cas cela dépend de la création de nouvelles filières commerciales et donc d'une révision du système alimentaire dans son ensemble, à l'échelle locale ou au-delà. Plus fondamentalement, transformer le CO₂ atmosphérique en biomasse et en matière organique requiert de l'eau et des minéraux (azote, phosphore, potassium, etc.) qui ne sont pas tous aussi disponibles « atmosphériquement » et donc de manière indolore que le CO₂ ou même l'azote.

7 Bienvenue sur le site de l'Initiative « 4 pour 1000 » ; <https://www.4p1000.org/>

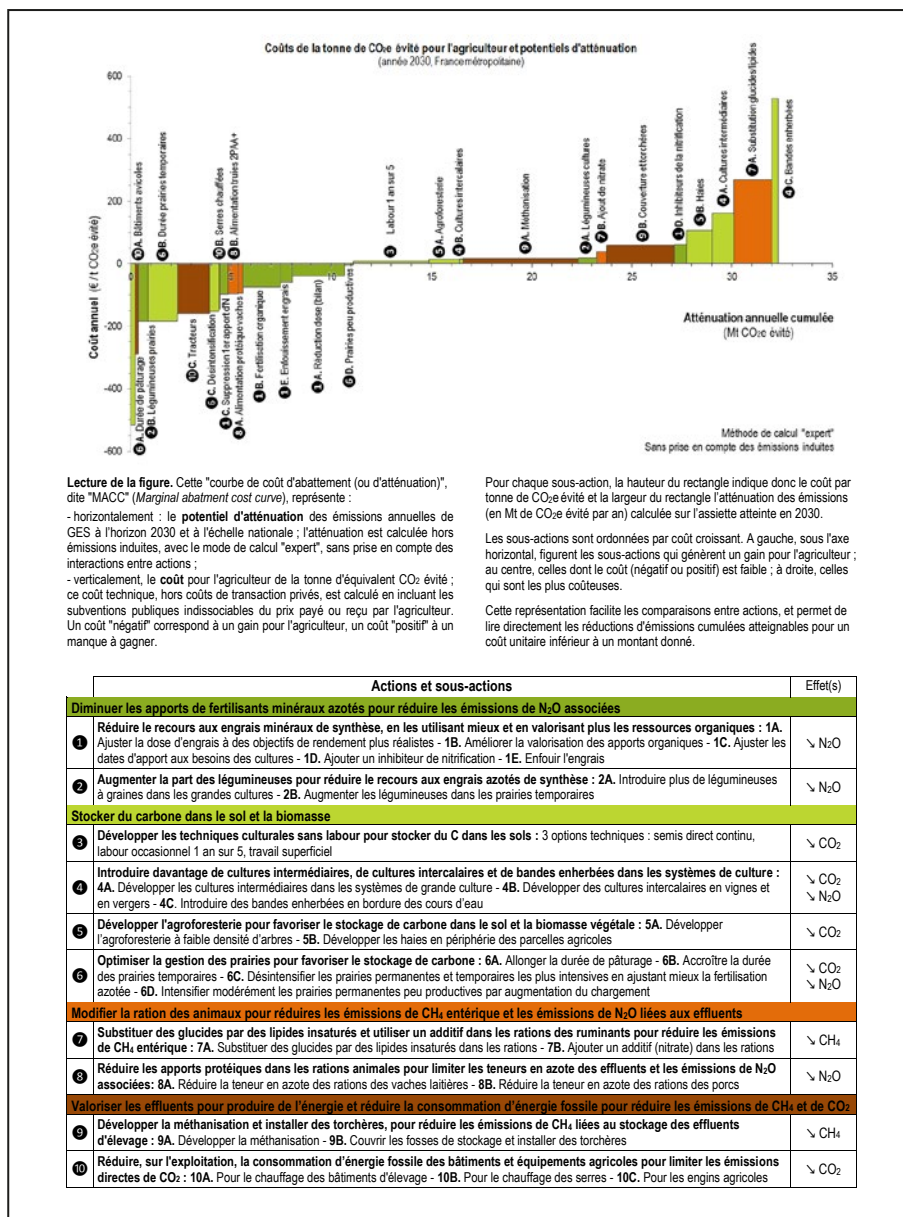


Figure 3 : estimation du coût – négatif en cas de bénéfice – et du potentiel de réduction d'émission de CO₂ pour différentes pratiques agricoles en France. Source : INRA⁸

8 Expertise scientifique collective « Réduire les émissions de gaz à effet de serre du secteur agricole en France ; Potentiels d'atténuation et coûts de 10 actions techniques », INRA (2013) ; <https://www6.paris.inra.fr/depe/Projets/Agriculture-et-GES>

Face à ces défis historiques, d'une ampleur sans précédent à l'échelle de l'Humanité et sans doute de la planète, il est nécessaire et urgent de transformer assez radicalement nos systèmes alimentaires. Développer des innovations techniques et des innovations d'organisation n'est pas facultatif ; combiner et croiser toutes ces innovations de l'amont à l'aval des systèmes alimentaires non plus. Mais c'est très complexe.

L'innovation et les systèmes alimentaires

Tout d'abord, cherchons à comprendre comment fonctionne l'innovation, de manière générale puis en particulier dans les systèmes alimentaires, dans ce processus et la place de la production de nouvelles connaissances par la recherche scientifique. Une conception assez simple de la relation entre la production des connaissances et leur impact sociétal sous forme d'inventions et d'innovations s'est longtemps contentée de distinguer recherche fondamentale et recherche appliquée. Selon cette vision encore très présente plus ou moins implicitement dans beaucoup de propos sur le sujet, la recherche appliquée viendrait puiser dans les connaissances produites de manière très libre et spontanée par la recherche fondamentale, la société viendrait à son tour piocher dans les produits de la recherche appliquée, et tout irait pour le mieux dans le meilleur des mondes sans que les chercheurs aient vraiment à se préoccuper des processus « aval » de transfert, ou même des chances que transfert il y ait. De nombreux exemples démontrent que ce processus fonctionne parfois, même si le principe dit de « sérendipité »⁹ sur lequel il repose de manière implicite laisse généralement moins de place au pur hasard que la lecture des quelques lignes (caricaturales !) ci-dessus ne pourrait le laisser penser. Ce processus « invention-innovation-diffusion » a été formalisé par Joseph Schumpeter en 1934, ouvrant un courant encore actif aujourd'hui en économie de l'innovation, tandis que cette vision du monde était largement reprise par les politiques de développement économique de nombreux pays, qui visent à stimuler le passage de la connaissance à l'invention et de l'invention à l'innovation.

9 Le fait de trouver autre chose que ce que l'on cherchait, et par extension le fait que ce qu'on a trouvé serve finalement à autre chose que ce qu'on imaginait initialement.

En particulier, Schumpeter a formalisé le concept dit « d'innovation destructive » : des innovations technologiques ou organisationnelles peuvent parfois provoquer des transitions de rupture vers un « nouveau monde » ne laissant pas de place à l'ancien. Les ampoules électriques qui ont remplacé il y a une dizaine d'années les ampoules à incandescence sous l'appellation pourtant évocatrice de « à basse consommation » sont probablement vouées à l'extinction du fait de leur consommation excessive par rapport à la technologie des diodes électroluminescentes (*Light-emitting diodes*, LED). En quelques années, la photographie numérique a remplacé rapidement et totalement la photographie argentique. Le disque vinyl, qui avait remplacé les rouleaux de cire, a été tué par le compact-disc lui-même remplacé par les lecteurs MP3 puis par les sites de streaming. Ces révolutions technologiques ont à chaque fois causé des déboires industriels mais aussi un meilleur service pour l'utilisateur final, et la montée en puissance de nouveaux acteurs économiques porteurs de ce service. Ces acteurs du « nouveau monde » ne sont pas toujours ceux de « l'ancien monde » : ceux-ci, par définition puissants dans l'ancien monde, sont donc susceptibles de se positionner en réaction à l'innovation pour, si possible, la bloquer avant qu'il ne soit trop tard pour eux. Cette force conservatrice quasiment automatique est susceptible de compromettre la mise en place de l'innovation elle-même. On pense par exemple à la manière dont les taxis ont remplacé les fiacres, transformant profondément à la fois la relation des citadins à la ville, et la sociologie des métiers du transport urbain qui s'y opposaient fortement à l'époque : aujourd'hui, ce secteur vit un changement qui est probablement d'une ampleur comparable, et qui suscite en tout cas des réactions comparables des acteurs de l'ancien monde, avec l'irruption du « numérique pour tous » qui permet des services de voitures de transport avec chauffeur (VTC), et la colère des chauffeurs de taxis ; en attendant qu'un futur service cause celle des chauffeurs de VTC ?

Que la célèbre citation d'Henry Ford, « *If I had asked people what they wanted, they would have said faster horses* » (« si j'avais demandé aux gens ce qu'ils voulaient, ils auraient répondu des chevaux plus rapides »), soit authentique ou apocryphe, elle illustre bien la difficulté – pour ne pas dire l'impossibilité – pour les acteurs (ici les citoyens, sous-entendu consommateurs) à envisager les possibilités ouvertes dans monde d'après l'innovation, et donc par la transition elle-même et par les innovations nécessaires pour l'engager. Les gens qu'il aurait interrogés n'allaient en effet sans doute pas lui recommander

de ne pas omettre de doter la Ford T d'un frein efficace, d'un embrayage et d'une boîte de vitesses – sans parler des clignotants, des ceintures de sécurité et des airbags qui arriveraient après plusieurs décennies d'accidents mortels –, ne visualisant sans doute pas beaucoup mieux que lui ce que serait un véhicule automobile, et encore moins les contraintes d'une conduite sécurisée dans un trafic urbain.

Les systèmes alimentaires, tels que nous les avons définis dans un sens large ci-dessus, ont toujours été un creuset d'innovations et de transitions sociétales. L'invention de l'agriculture au néolithique a permis d'accéder à une certaine sécurité alimentaire et a conduit les sociétés humaines à se sédentariser, à payer le prix d'épidémies issues des troupeaux pour certaines et propagées facilement dans ces petites sociétés sédentaires, à inventer la monnaie, le calcul et l'écriture, et toutes autres choses qui nous semblent naturelles aujourd'hui. En parallèle à la révolution industrielle engagée au ^{xix}^e siècle, de nouvelles révolutions y ont vu le jour, associées à la réorganisation de la société tout entière que cela a occasionné : l'exode rural requiert une industrialisation de la production alimentaire (plus de bouches en ville, moins de mains dans les campagnes) et des modes de distribution à distance. Comme dans d'autres domaines et peut-être même plus que dans d'autres domaines, l'innovation s'est accélérée dans les systèmes alimentaires, et notamment dans leur fonction de production portée par l'agriculture. Pourtant l'ensemble de la société, aujourd'hui urbaine, ignore souvent l'ampleur de ces transitions ou même les rejette au nom d'une mémoire collective d'un passé rural relativement récent mais qui ne correspond plus à la réalité d'aujourd'hui. On peut voir là une forme particulière du phénomène de rejet de l'innovation par les acteurs de « l'ancien monde ». Dans ce domaine particulier, les valeurs de « l'ancien monde », rural, ne sont plus tant portées par lui-même que par les sociétés urbaines qui en gardent la mémoire familiale récente. Le rejet de l'innovation en agriculture se trouve donc être plutôt le fait non pas de « l'ancien monde », qui n'existe déjà virtuellement plus, mais du « monde d'à côté », urbain, qui en porte la mémoire collective et constitue une opinion publique puissante. Or ce « monde d'à côté » représente aussi l'aval du système alimentaire : les acteurs de la fonction de consommation du système alimentaire se retrouvent donc à représenter la force de réaction conservatrice opposée à l'innovation dans la fonction de production. Notons qu'il ne s'agit pas de juger ici, ni même de le discuter, du bien-fondé de cette force de réaction ou des formes qu'elle

prend ; il s'agit de constater que ces tensions engendrent un danger de rupture citoyenne, dans un secteur pourtant central pour notre survie : l'alimentation. Certains lisent par exemple ce syndrome dans les débats sur les OGM ou plus récemment en France sur le glyphosate.

Un exemple d'innovation révolutionnaire : la sélection génomique des bovins

Pour mieux visualiser ce que représente l'innovation et sa capacité transformatrice en agriculture, prenons un exemple : la sélection génomique en élevage bovin.

La perception partagée implicitement dans l'opinion publique de l'élevage repose sur l'image de vaches normandes ruminant paisiblement sous des pommiers (une forme d'agroforesterie avant la lettre, qui se raréfie aujourd'hui) ; la réalité est quant à elle celle d'une activité agricole très pointue, d'élevages de plus en plus spécialisés et faisant appel à des technologies modernes. Le contrôle laitier donne quotidiennement des informations sur l'état de santé et de performance du troupeau français et de chaque individu qui le compose. L'insémination artificielle permet à chaque éleveur de bénéficier des meilleurs taureaux. Cela mène assez naturellement, dans le domaine de la génétique, à un « star-system » dans lequel le dénommé Jocko-Besné s'est particulièrement illustré.

Jocko-Besné (1992-2012) était un taureau de la race Prim'Holstein, qui transmettait à sa descendance des performances exceptionnelles en termes de conformation, de fertilité, de santé, de longévité et de production laitière. Grâce à l'insémination artificielle, chaque éleveur pouvait faire bénéficier son troupeau des gènes de Jocko-Besné : on estime qu'il a eu 400.000 filles dans 60 pays, et que sa descendance est présente dans un quart des élevages français de Prim'Holstein. Comme d'autres stars, Jocko-Besné a sa page Wikipédia et sa statue sur un rond-point de la ville où il a passé sa vie de géniteur (Blain, en Loire-Atlantique).



Figure 4 : la statue de Jocko-Besné une de ses filles et une de ses petites-filles, sur un rond-point à proximité de son lieu de vie.

Source : Evolution via Web-Agri¹⁰

La révolution qu'a apportée l'insémination artificielle par des taureaux sélectionnés dans l'élevage a permis de disséminer le progrès génétique dans tous les élevages, et elle a profondément transformé le métier des éleveurs, la conduite des troupeaux, l'organisation des filières et *in fine* la qualité de notre alimentation carnée et lactée. L'approche présente toutefois quelques limites évidentes, et notamment le délai de réponse et la consanguinité. Pour connaître la valeur laitière d'un veau mâle, il faut en effet attendre plusieurs années qu'il soit adulte, qu'il se soit reproduit, que ses filles soient adultes et se soient elles-mêmes reproduites, ce qui permet alors de mesurer les paramètres de qualité de leur lait. De tels délais expliquent le fort investissement collectif dans un petit nombre de reproducteurs mâles, et s'accompagnent mécaniquement des risques associés à la consanguinité. Le nombre de filles de Jocko-Besné et la considérable proportion des élevages français qui les hébergent en sont des illustrations frappantes : s'il avait porté des gènes délétères sans qu'on le sache, ceux-ci seraient aujourd'hui présents partout en France et au-delà.

10 Jocko Besné – Le taureau de fer trône au milieu du rond-point de Blain ; <http://www.web-agri.fr/conduite-elevage/genetique-race/article/le-taureau-de-fer-trone-au-milieu-du-rond-point-de-blain-1175-94630.html>.

Le décryptage du génome bovin en 2009 d'une part, le développement concomitant d'autre part de technologies d'analyse de l'ADN individuel à bas coût, et enfin l'existence de la solide organisation professionnelle qui avait été mise en place entre autres pour l'insémination artificielle et pour le contrôle laitier, ont permis de concrétiser l'espoir de prédire la performance d'un animal d'après son ADN et de baser la sélection non plus sur les performances réelles de quelques animaux « champions » mais sur l'ensemble des gènes – le génome – de chacun de ceux du troupeau. Pour démarrer par un exemple simple, prenons la race bovine charolaise : elle est caractérisée, comme la race blonde d'Aquitaine et la race de chevaux Fjord, par une robe crème liée à une mutation unique, appelée « Silver », dans le gène qui code la couleur. Évidemment, l'expression de cette mutation est facilement visible dès la naissance et cela réduit l'intérêt de la recherche dans l'ADN, mais cet exemple illustre que de la même façon, on peut rechercher dans l'ADN d'un jeune veau telle ou telle forme de tel ou tel gène, dont on sait qu'elle est associée à un caractère qu'on recherchera chez l'adulte, comme par exemple la capacité laitière. Étendre ce principe pour prédire la valeur reproductive pour l'ensemble des caractères recherchés, en cherchant sur l'ensemble du génome et pour l'ensemble des naissances devient alors techniquement envisageable : c'est la sélection génomique, mise en œuvre depuis le début des années 2010 dans certaines races bovines et qui s'étend aujourd'hui à des races de plus petits effectifs et à d'autres espèces.

La sélection génomique, en raccourcissant les délais de sélection et l'investissement associé à un reproducteur donné, permet aujourd'hui aux éleveurs de disposer d'un plus grand choix de taureaux, en connaissance de cause par rapport à une plus grande diversité de caractéristiques génétiques. Cette rupture technologique entraîne une rupture intellectuelle puisqu'elle permet une baisse de consanguinité dans le troupeau et, au-delà, une gestion fine de la diversité génétique du troupeau qui ne figurait pas, ou presque, dans la palette des leviers d'action de l'éleveur il y a encore quelques années. L'éleveur peut mettre en œuvre des plans d'accouplement beaucoup plus complexes et plus riches. Il peut adapter les critères de sélection à chaque individu. Il peut se mettre à faire de la sélection sur les femelles, quasiment inenvisageable jusqu'ici. L'utilisation de semence sexée permet de gérer le sexe de la descendance d'une mère en fonction de ses qualités individuelles à présent caractérisées : vaut-il mieux lui faire avoir des veaux mâles et dans ce cas utiliser de la semence à bonnes

capacités bouchère, ou des veaux femelles et dans ce cas utiliser de la semence à bonnes capacités laitières ? La sélection génomique bovine a sifflé la fin du « star system », qui avait fait progresser le cheptel mais touchait parfois ses limites. Le rythme du progrès génétique a alors doublé, et s'est tourné vers des caractères jusqu'ici difficilement accessibles (santé, qualité du lait, efficacité alimentaire, émissions de gaz à effet de serre par la rumination, etc.).

Dans les races Montbéliarde, Prim'Holstein ou Normande, l'approche conventionnelle a entièrement cédé le pas à la sélection génomique entre 2008 et 2015, et cette transition très rapide a révolutionné le métier de l'éleveur, à présent acteur à part entière de la génétique de son troupeau, au niveau le plus fin. La valeur ajoutée cumulée de la sélection génomique pour les seuls bovins laitiers est estimée à plusieurs milliards d'Euros, après seulement quelques années de mise en œuvre. Les facteurs qui ont permis cette transition rapide, outre l'intérêt évident pour les éleveurs qui a été un formidable moteur pour l'adoption de l'innovation, qui en a été la clé, ont été :

- La pré-existence d'une organisation professionnelle performante, habituée à mutualiser l'information sur les pédigrées, sur les performances individuelles et la santé des animaux, et à élaborer ensemble des cibles de sélection prioritaires ;
- L'existence d'innovations hors du champ concerné lui-même : la technologie des puces à ADN, l'évolution des technologies du séquençage, de l'informatique et du numérique, etc. ;
- L'acquisition de connaissances de base, fondamentales, en génétique bovine : le séquençage du génome bovin et même à une grande diversité de génomes bovins, la capacité à prédire les performances individuelles à partir de l'information génétique, en calculant des index de sélection adaptés aux cibles et/ou synthétiques.

L'innovation, un processus linéaire du savoir à l'impact ?

Cet exemple en tête, revenons aux processus d'innovation eux-mêmes. Une version plus fine de la théorie linéaire de l'innovation a été proposée par la NASA à la fin des années 1980. À la demande du président Reagan suite à la désintégration au décollage de la navette Challenger en 1986, la NASA révisait alors l'ensemble du processus d'innovation et de conception d'un objet

complexe (une fusée), impliquant la coopération de partenaires nombreux et divers : militaires ou civils, publics ou commerciaux, nationaux ou internationaux et articulant des technologies développées spécialement à cette fin mais aussi à des technologies et des connaissances amont, développées sans idée précise de leur utilisation future. Le concept de niveau de maturité technologique (*Technology Readiness Level*, TRL), reposant sur une échelle à neuf niveaux, rend bien compte de cette organisation des partenariats, des savoirs et des technologies pour le domaine aéronautique et spatial, et de fait il s'adapte assez bien à de nombreux autres domaines en y remplaçant les termes spécifiques à celui de l'aéronautique spatiale.

L'échelle TRL de la NASA¹¹ est la suivante, dans une traduction libre ; elle décrit une montée en opérationnalité du composant technologique concerné :

- TRL 1 : Principes de base observés et décrits
- TRL 2 : Formulation du concept de la technologie et/ou de l'application
- TRL 3 : Preuve de concept analytique et expérimentale de la fonction critique ou de la caractéristique
- TRL 4 : Validation du composant ou du circuit en laboratoire
- TRL 5 : Validation du composant ou du circuit dans un environnement significatif
- TRL 6 : Démonstration du modèle ou du prototype du système / sous-système dans un environnement significatif (au sol ou dans l'espace)
- TRL 7 : Démonstration du prototype du système dans un environnement spatial
- TRL 8 : Système réel complet « qualifié pour le vol » à travers des tests et des démonstrations (au sol ou dans l'espace)
- TRL 9 : Système réel prouvé à travers des missions réussies

Ce principe permet de sortir par le haut de la forte limitation liée à la dualité classique entre recherche fondamentale et recherche appliquée. En effet

¹¹ Technology Readiness Level ; https://www.nasa.gov/directorates/heo/scan/engineering/technology/txt_accordion1.html ; voir aussi https://www.nasa.gov/pdf/458490main_TRL_Definitions.pdf

il décrit le processus plutôt comme un continuum entre des niveaux bas et des niveaux hauts de maturité technologique, tous également indispensables à l'innovation. Les niveaux bas et les niveaux hauts sont l'affaire d'acteurs distincts (plutôt public dans les niveaux bas, plutôt privés dans les niveaux hauts), ils ont des propriétés différentes, et ils doivent être développés selon des processus différents. L'échelle détaillée décrit comment ils s'articulent entre eux à chaque niveau : qu'attendre de ce niveau plutôt que des autres, quels nouveaux partenariats introduire, quel type de compétences mobiliser, quels moyens financiers dégager, etc.

Les deux extrémités de l'échelle des TRL tendent à agir conjointement comme un « pousseur d'innovation » pour les niveaux bas, et comme un « attracteur d'innovation » pour les niveaux hauts. Le milieu de l'échelle, parfois surnommé « vallée de la mort », se caractérise souvent par une difficulté à mobiliser des financements puisqu'on n'est plus dans le domaine « bas » qui est plus propre au financement public et à la valorisation par des publications, et pas encore tout à fait dans le domaine « haut » qui est plus propre au financement privé et à la protection par des brevets ou du secret industriel.

Ce schéma s'applique bien dans le domaine de l'aéronautique spatiale, mais pas toujours aussi bien ailleurs. Envoyer une fusée capable de mettre sur orbite un équipage et de le ramener sain et sauf constitue un attracteur unique d'innovation, dont la visibilité et la compréhension partagée par toute la chaîne TRL aide à franchir la « vallée de la mort ». Il peut toutefois en être différemment dans d'autres domaines : dans celui des systèmes alimentaires comme on l'a vu avec l'exemple de la sélection génomique, l'innovation de rupture transitionnelle suit souvent des cheminements plus sinueux. Elle fait souvent appel à des technologies et des acteurs initialement non prévus voire non prévisibles, qui ne savent pas forcément au début du processus qu'ils auront à se parler pour innover ensemble, ou même qui ne savent pas qu'ils sont concernés. Elle ne se cantonne pas à l'innovation technologique mais invite aussi des volets d'innovation sociale et/ou organisationnelle. Ses impacts sont divers, et ils sont diversement appréciés par ses acteurs et par ceux qui sont impactés.

Dans les systèmes alimentaires, des chemins plus complexes vers l'impact de l'innovation

L'Inra a publié en 2016 les résultats d'une étude menée sur fonds propres, pour mieux comprendre les tenants et les aboutissants de l'innovation dans les systèmes alimentaires, et surtout le rôle qu'y joue la recherche : c'est l'étude « Analyse des Impacts de la Recherche Publique Agronomique » (ASIRPA)¹², basée sur l'examen d'une grande série (40 cas) de recherches de l'Inra qui se sont traduites par des innovations adoptées et dont les résultats sont tangibles. ASIRPA, basée sur trois piliers (chronologie, chemin d'impact, vecteur d'impact), donne aujourd'hui lieu à une méthode standardisée, appliquée en routine dans l'Institut pour décrire et mieux comprendre l'impact des recherches effectuées.

Pour autant, une des conclusions du rapport est que cette approche ne saurait être prédictive : il n'est pas concevable de sélectionner *ab initio* les recherches à conduire pour provoquer une innovation plusieurs années plus tard, parce qu'on ne peut prédire ni le résultat de la production de connaissances, ni quelles connaissances seront nécessaires et seraient manquantes. Sur ce point, les résultats de l'étude rejoignent les observations qui avaient fondé la conception du principe TRL et la notion générale de « sérendipité ».

Les principaux enseignements d'ASIRPA sont¹³ :

- Les impacts de la recherche s'inscrivent dans plusieurs dimensions : économique, environnemental, politique, territorial / social, sanitaire ;
- En moyenne, près de vingt ans séparent les recherches et leurs premiers impacts (un décalage du même ordre que celui observé dans d'autres domaines que l'agronomie et les systèmes alimentaires) ; les impacts politiques sont toutefois souvent plus rapides à s'exprimer ;

12 ASIRPA – Impact sociétal de la recherche ; <https://www6.inra.fr/asirpa>

13 Colinet L., Joly P. B., Gaunand A., Matt M., Laredo P. & Lemarié S. (2014). *ASIRPA - Analyse des Impacts de la Recherche Publique Agronomique. Rapport final*. Paris, FRA : INRA. 61 pp. <https://prodinra.inra.fr/record/265649>

Joly P.-B., Colinet L., Gaunand A., Lemarié S., Laredo P. & Matt, M. (2015). Évaluer l'impact sociétal de la recherche pour apprendre à le gérer : l'approche ASIRPA et l'exemple de la recherche agronomique. *Gérer et Comprendre* **122**, 31-42. <http://www.annales.org/gc/2015/resumes/decembre/04-gc-resum-FR-AN-AL-ES-decembre-2015.html>

- Les recherches mobilisées sont de grande qualité, aux interfaces disciplinaires, et s'inscrivent dans un contexte international très compétitif ;
- Les infrastructures de recherche jouent un rôle crucial : il s'agit d'équipements mutualisés (par exemple des fermes expérimentales, des collections végétales, etc.) autour desquels peuvent se retrouver des équipes de chercheurs d'origines diverses ;
- Les contributions de l'Inra à la construction de l'impact sont plurielles : production de connaissances de base, coordination et/ou structuration de consortium, intermédiation ;
- Les partenariats sont d'importance majeure ; les partenaires de la production de connaissance ou du développement ne sont pas nécessairement ceux qui assurent la diffusion de l'innovation ; dans tous les cas, la stabilité des partenariats sur le temps long est primordiale.

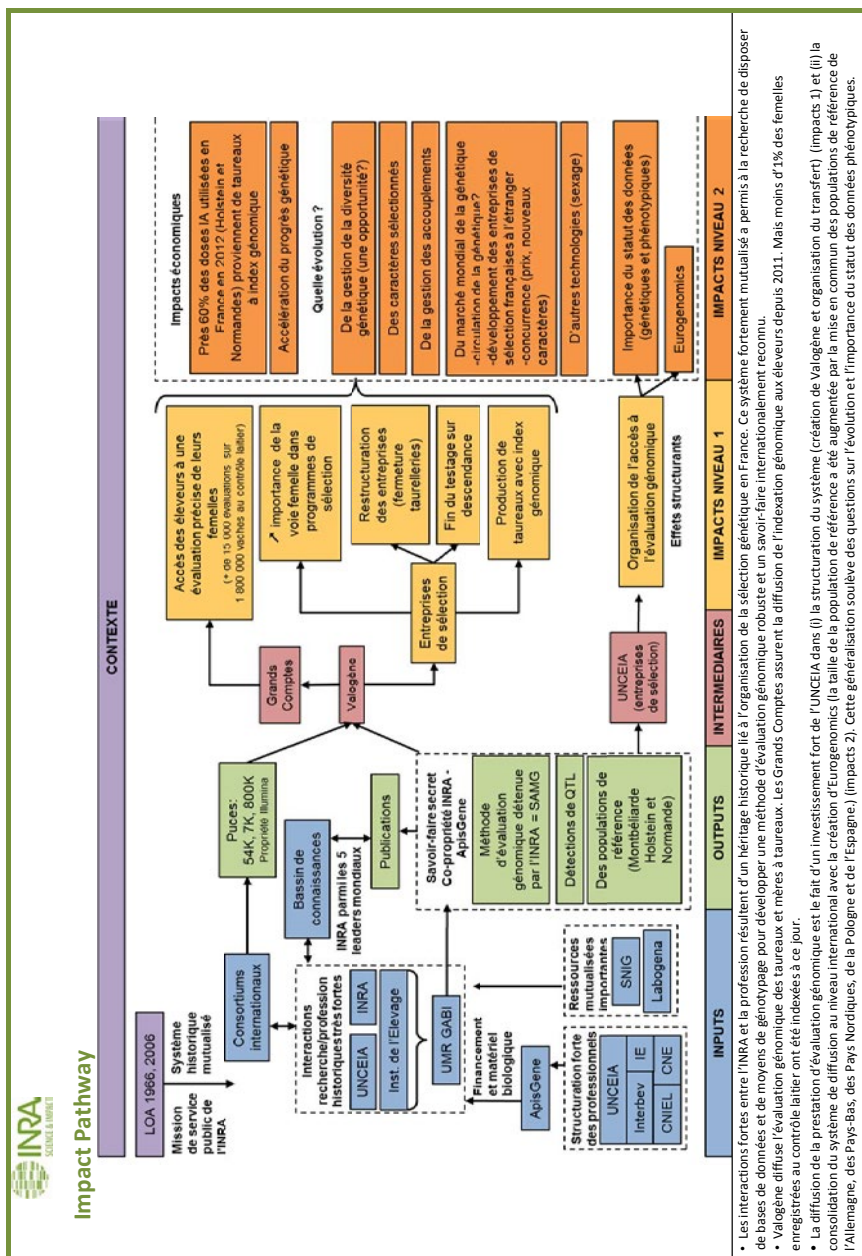


Figure 5 : la complexité d'un chemin d'impact, ici celui du cas de la sélection génomique bovine.
Source INRA¹⁴

14 La sélection génomique bovine, étude de cas ASIRPA ; <https://www6.inra.fr/asirpa/Les-cas-etudes/Etudes-de-cas/Elevage/Selection-genomique-bovine>

Ces grandes propriétés des chemins d'impact ont été une des sources d'inspiration pour dessiner les orientations stratégiques de l'Inra à l'horizon 2025, #Inra2025¹⁵. La partie la plus fondamentale – les TRL les plus bas – de la recherche de l'Institut est mieux assumée, dès lors qu'il est établi qu'il n'est pas possible de déterminer par avance quelles recherches seront impliquées quelques années plus tard dans une innovation et un impact positif. Elle fait l'objet de partenariats académiques inscrits dans les territoires via les pôles universitaires. Nécessaire à la montée en TRL autour de neuf grandes thématiques finalisées, son caractère interdisciplinaire est stimulé par des dispositifs internes de programmation, les métaprogrammes. Un grand chantier réorganise par ailleurs le dispositif des infrastructures de recherche, physiques comme numériques. Dans le même temps, la politique institutionnelle de partenariat pour le transfert et l'innovation est entièrement refondée ; elle imprègne la culture d'établissement et des moyens spécifiques y sont dédiés, en interne ou via les filiales de droit privé. Les moteurs d'innovation exogène sont recherchés (numérique, robotique, etc.). Les partenariats s'ouvrent aussi sur la société via des sciences citoyennes ou participatives.

Le territoire, un attracteur d'innovation pour les systèmes alimentaires

Un des domaines où l'innovation de rupture est particulièrement nécessaire est celui de la transition agro-écologique. Le terme « agro-écologie » est polysémique : il peut désigner pour les uns un mouvement social, pour les autres un ensemble de pratiques agricoles conciliant les performances économiques, environnementales et sociales de l'agriculture, et pour les chercheurs il désigne une discipline scientifique en émergence aux confins de l'Écologie scientifique et de l'agronomie¹⁶. L'agro-écologie – dans le second de ces sens – a été le fil rouge de la politique du ministère français de l'agriculture de 2013 à 2017¹⁷. Alors que pour certains observateurs de terrain ce soutien relevait du

15 Orientations stratégiques de l'Inra à l'horizon 2025 ; <http://2025.inra.fr>

16 L'agroécologie, vous connaissez ? <http://www.inra.fr/Grand-public/Agriculture-durable/Tous-les-dossiers/L-agroecologie-vous-connaissiez>

17 Le projet agro-écologique en 12 clés <http://agriculture.gouv.fr/le-projet-agro-ecologique-en-12-cles>

pur discours politicien, il est clair que, du fait de sa constance et son caractère appuyé et répétitif, il a contribué au début de l'émergence d'un ensemble d'acteurs et de partenariats stables autour de la recherche et de l'innovation (on a vu plus haut avec ASIRPA que la stabilité des partenariats est propice à l'innovation). De la même façon qu'on l'a vu avec la conquête spatiale qui, partant d'une commande politique qui pouvait paraître insensée en 1961 (le président JF Kennedy annonçant au congrès son intention qu'avant la fin de la décennie des hommes aillent sur la lune et en reviennent sains et saufs), a conduit à un incroyable bouquet d'innovations technologiques qui a servi toute la société jusqu'à nos jours encore, la commande politique de l'agro-écologie est une formidable stimulation pour la recherche et l'innovation dans le domaine des systèmes alimentaires. La recherche a pu tisser sa toile et se développer vers quatre finalités qui constituent les axes stratégiques de l'agro-écologie : non seulement préserver, mais même reconquérir et valoriser la biodiversité dans les espaces agricoles, fermer les cycles biogéochimiques pour éviter les pertes et les gaspillages tout au long de la chaîne qui va de l'environnement à la consommation, diversifier les usages de la biomasse, et gérer les paysages et les territoires.

On a vu plus haut, dans le domaine aéronautique et spatial, l'importance que joue un grand attracteur unique de l'innovation pour tirer vers le haut la montée en TRL, et plus généralement organiser l'organisation de tous les acteurs de l'innovation vers un but unique qui allie complexité de la conception, diversité des compétences en partenariat et inscription dans la durée. La transition des systèmes alimentaires rassemble bien ces caractéristiques, mais il y manque généralement deux choses : d'une part un objet final identifiable (une fusée est un objet identifiable, mais une pratique agronomique l'est beaucoup moins), et d'autre part cet attracteur unique. Notamment, il y manque généralement une gouvernance capable de redessiner régulièrement le but à atteindre collectivement, et que les décisions nécessaires soient prises et mises en œuvre ensemble. C'est assez clairement le territoire qui peut jouer ce rôle. C'est dans le territoire, le pays, la circonscription que des acteurs très divers peuvent, sous l'impulsion de collectivités qui en assurent la gouvernance, imaginer ensemble leur place dans le monde de demain et se retrouver dans le même « bac à sable » pour l'atteindre.

Le dispositif des « Territoires Innovants – Grande Ambition » (TIGA)¹⁸, qui émergent en France sous l’impulsion du Secrétariat Général pour l’Investissement (SGPI, un service du Premier Ministre) et de la Caisse des Dépôts et des Consignations, ont notamment vocation à relever ce défi de la gouvernance territoriale de l’innovation en réseau, dans le domaine agro-alimentaire ou dans d’autres domaines où il est nécessaire de « penser globalement et agir localement ». Il n’est pas étonnant de constater que parmi les vingt-quatre TIGA pré-sélectionnés par le SGPI, au moins sept concernent les systèmes alimentaires. D’autres expériences de type « Laboratoires Vivants » (« Living Lab ») ancrés dans les territoires voient le jour, labélisés TIGA ou non : c’est par exemple le cas du Laboratoire d’Innovation Territorial « Grandes Cultures en Auvergne »¹⁹, dans la Limagne et le Val d’Allier, qui allie organismes de recherche, université, chambre d’agriculture, institut technique agricole et coopérative agricole dans une démarche d’innovation ouverte et participative.

En guise de conclusion

Depuis les années 1980, l’empreinte environnementale de l’Humanité dépasse la capacité de la planète Terre et continue de s’accroître. En prendre conscience incite plus que jamais à sécuriser la durabilité des systèmes alimentaires, et leur faire engager une transition globale (« au niveau du globe »), dont les déclinaisons sont nécessairement locales. Cette transition ne se fera pas sans innovations techniques mais aussi organisationnelles. L’innovation dans les systèmes alimentaires, comme dans d’autres domaines, fait appel à l’ensemble de la chaîne de valeurs depuis la création de connaissances nouvelles jusqu’à la diffusion dans l’ensemble de la société. Comme dans d’autres domaines et sans doute même plus encore que dans d’autres domaines du fait du caractère diffus des cheminements de l’impact, l’innovation dans les systèmes alimentaires bénéficie des apports d’innovations exogènes, de l’engagement des acteurs dans des partenariats parfois inattendus, et elle s’inscrit dans la

18 Territoires d’Innovation – Grande Ambition ; <https://www.caissedesdepots.fr/territoires-dinnovation-grande-ambition>

19 Laboratoire d’Innovation Territorial (Grandes cultures en Auvergne) ; <https://www.lit-gca.com/>

durée. Les territoires sont sans doute, du fait de leur gouvernance habituée à engager des acteurs divers et parfois divergents vers des buts communs, un niveau d'organisation adapté au développement des innovations les plus pertinentes. C'est aussi un enjeu de réconciliation citoyenne, un facteur indispensable pour aborder solidement les transitions ambitieuses dont ont besoin nos systèmes alimentaires.

XXXIV UNIVERSITAT D'ESTIU D'ANDORRA
DEL 4 AL 7 DE SETEMBRE DEL 2017

Sessió del 7 de setembre del 2017

FUTUR QUÀNTIC

José Ignacio Latorre Sentís

Doctor en física i catedràtic de física teòrica a la Universitat de Barcelona,
investigador al Center for Quantum Technologies de Singapur

Doctor en física y catedrático de física teórica en la Universidad de Barcelona,
investigador en el Center for Quantum Technologies de Singapur

Docteur en physique et professeur des universités en physique théorique
à l'Université de Barcelona, chercheur au Center for Quantum Technologies de Singapur

Per citar aquest article / Para citar este artículo / Pour citer cet article :

LATORRE SENTÍS, José Ignacio. « Futur quàntic » [en línia], a: Universitat d'Estiu d'Andorra (34a : 4 - 7 set., 2017 : Andorra la Vella). *Tecnologia i humanitat, llums i ombres = Tecnologia y humanidad, luces y sombras = Technologie et humanité, lumières et ombres*. Andorra: Govern d'Andorra. Ministeri d'Educació i Ensenyament Superior. Universitat d'Estiu d'Andorra, 2018, p. 84-95 (978-99920-0-857-7) <<http://www.universitatestiu.ad/UEA2017>>

Bona tarda,

És un plaer que m'hàgiu convidat. És realment excepcional el tracte que m'oferiu i una satisfacció poder parlar de mecànica quàntica en aquesta universitat d'estiu.

Els científics com jo, que ens dediquem a la mecànica quàntica, estem molt contents en aquest període de la ciència, perquè vivim una revolució. Els humans estem a prop d'aconseguir controlar la natura en el seu àmbit més elemental, és a dir, en els àtoms i fotons individuals. De sobte, s'ha obert la possibilitat de fer coses que no havíem sospitat mai.

Aquesta xerrada, que no és gens tècnica, tracta d'explicar què és el que estem aconseguint en l'actualitat i quines conseqüències importants tindran aquests progressos en el futur. La xerrada es titula *Futur quàntic*, perquè la ciència condiona de forma sistemàtica el futur del món i, de fet, tots els grans canvis en la història de la humanitat han estat relacionats amb el progrés científic.

Per començar d'una forma molt planera, vull esmentar certes notícies que apareixen als mitjans de comunicació i de les quals la gent no acaba de ser conscient. Per exemple, una notícia del desembre del 2015 diu: «Google ha comprat un ordinador quàntic»; a més, «aquest ordinador quàntic va cent milions de vegades més ràpid que un ordinador clàssic», com el que tenim tots. Això va disparar totes les alarmes dels empresaris i les institucions responsables de finançar la ciència. Si Google entra en el joc científic, ens hem de posar molt seriosos a l'hora de treballar, perquè ara la lluita ja no és exclusiva entre grups de recerca sinó que, a més, les corporacions que volen assolir i crear coneixement nou s'afegeixen a la competició.

Una altra notícia notable, també de l'any 2015, és que Hillary Clinton, quan encara competia per la presidència dels Estats Units, va dir literalment que «el repte de construir un ordinador quàntic provoca un daltabaix quant a la criptografia i la comunicació segura que fem servir». I afegia: «Els Estats Units necessiten fer un nou Projecte Manhattan per superar el que arribarà amb la computació quàntica.»

Una altra notícia, de l'abril del 2016, diu que la Unió Europea llança l'instrument més potent de recerca que té, anomenat Flagship (nau capdavantera), en tecnologies quàntiques, i se salta tots els protocols burocràtics dels dos projectes anteriors; un relacionat amb el grafè i un altre amb el cervell humà. El

tercer, referent a les tecnologies quàntiques, s'aprova sense anys de discussió sobre què es farà en ciència. S'aproven 1.000 milions d'euros per als propers deu anys dedicats a les tecnologies quàntiques. Un projecte, per cert, presentat a l'abril i, com veieu, aprovat al maig.

I una altra notícia d'aquest estiu: la Xina ha aconseguit un satèl·lit de comunicacions quàntiques que envia llum en forma de fotons, que anomenem *entrellaçats*, en un estat quàntic, a dos llocs del Tibet situats a 1.200 km de distància, i estableix per primera vegada una comunicació secreta basada en mecànica quàntica. La Xina ara mateix ja disposa d'una xarxa de 48 ciutats comunicades de forma quàntica, i avui en dia aquesta comunicació no es pot trencar de cap de les maneres.

És a dir, que les notícies hi són. Hi ha tot un món que avança, i la forma d'explicar-vos-el és resumint el control que han exercit els humans sobre la matèria en tres fases. En la primera fase, del 1900 al 1926, es van establir els criteris que permeten entendre la mecànica quàntica. En la segona, l'any 1926, aquests criteris es van fixar per escrit gràcies a Schrödinger, Bohr, etc.; Einstein també hi va participar. Tots els científics de principis del segle xx, en particular del centre d'Europa, van construir la mecànica quàntica. La tercera fase se situa de l'any 1926 al 2000, quan té lloc l'anomenada primera revolució quàntica. Les persones comencen a utilitzar la mecànica quàntica. Per exemple, el làser. Són fotons en un estat que anomenem de superposició coherent. És un estat genuí de la mecànica quàntica. És bo perquè podem concentrar les posicions d'energia notables en poc espai. Podem crear un bisturí i tallar materials, però també codificar informació, introduir-la en una fibra òptica i d'aquesta manera comunicar-nos amb tota la Terra, o podem corregir la miopia d'un ull.

Gaudim d'un instrument impressionant perquè disposa energia de forma molt precisa en un lloc. Disposem de transistors; els ordinadors fan servir física de l'estat sòlid quàntica. Passa el mateix amb les ressonàncies magnètiques, derivades del fet que les persones som capaces de modificar els estats quàntics dels nuclis dels àtoms dins del cos humà i, quan es desexciten, observar-los i prendre una imatge de l'interior de l'organisme. També comptem amb rellotges atòmics, amb precisions d'una part en un bilió i que posem en òrbita. Donen voltes al planeta, envien un senyal i, en observar la seva interferència, sabem on som a la Terra: construïm un GPS.

Insisteixo, tot és gràcies al fet de tenir un control quàntic de la matèria. Però, encara que sembli aclaparador, és molt groller. A partir de l'any 2000 –sobretot– ja no es tracta de manipular molts fotons o tot el cos humà, sinó que ara ens centrem en cada àtom, en cada fotó, i, per tant, s'obren perspectives noves: la computació quàntica, la criptografia quàntica, la simulació quàntica i els sensors de noves generacions... Tot això configurarà el nostre futur sí o sí, no hi ha opcions.

Ningú no dubta que explicar mecànica quàntica així d'autèntica no és fàcil. Intentaré limitar-me a explicar els elements mínims. Hi ha un fet fonamental que diu que no podem descriure el món com ho feia Newton: amb velocitat, acceleració i ja està. Com podem argumentar que aquesta no és la forma de procedir en el món quàntic? És molt fàcil. Permeteu-me una observació molt filosòfica però fonamental: quan les persones mesurem, afectem l'objecte que mesurem. Com puc saber que un cotxe és al carrer o que veig un ordinador? Hi ha una reacció que produeix un fotó, aquest fotó col·lideix amb l'ordinador, arriba al meu ull, diposita una energia que es dispara pel nervi i va a parar al meu cervell. El que ha passat és que un fotó ha tocat l'element i ha viatjat fins al meu ull. Per tant, hi ha hagut una interacció d'aquest fotó amb l'objecte abans d'arribar al meu ull.

Però si en lloc d'un cotxe fos un electró? El fotó arribaria a l'electró i rebotaria. Què li passaria a l'electró? Se n'aniria. Aleshores què sé? Què he mesurat? Hi havia un electró, però on és? No ho sé perquè la meua forma de mesurar l'ha pertorbat de tal manera que he perdut tota la informació referent a aquest electró. I això és el que anomenem principi d'incertesa: no tenim la capacitat de saber totes les propietats de la matèria perquè en el procés de mesurar l'afectem, la canviem. Com a conseqüència, la informació que n'extraïem senzillament és falsa.

Les persones no podem assolir coneixement sense pertorbar el que estem mesurant. Això és monumental des d'un punt de vista filosòfic i dona lloc a un paradigma diferent de la ciència. Ja no podrem parlar mai més de realitat objectiva perquè no és assolible pels humans. Tan sols podem considerar la informació extreta. Per tant, la mecànica quàntica ja no debat sobre velocitats, posicions i coses d'aquestes; només té en compte quina informació es té. D'això en diem funció d'ona, i codifica la informació del sistema. La manera d'assenyalar estats quàntics és mitjançant dues ratlletes.

I quina situació es pot arribar a donar? Imagineu que teniu una doble escletxa. Envieu una partícula i la detecteu a l'altre costat. Us trobeu a l'altre costat i la veieu arribar a dalt. Direm que la nostra informació del sistema és que aquesta partícula ha fet aquest recorregut i ha arribat a dalt. Però, què passa si ha passat per sota? També és una possibilitat. I què passa si no mirem per on ha passat la partícula? Quin camí ha pres? Què ens diu la mecànica quàntica? L'opció vàlida és la u o la dos?

La mecànica quàntica respon, en aquest cas, de forma molt profunda: la manera de mantenir la informació és la superposició de les dues opcions. Per tant, en mecànica quàntica hem d'arrossegar les superposicions. Això vol dir que hi ha sistemes quàntics la informació dels quals és insuficient, i caldrà decidir que es troba en una superposició d'opcions diferents.

Segurament heu sentit parlar del gat de Schrödinger, que fins i tot ha sortit a *The Big Bang Theory*. La paradoxa del gat de Schrödinger, proposada per aquest científic l'any 1935, es qüestiona les superposicions de la mecànica quàntica. Es va inventar un experiment, descrit per ell mateix de la manera següent: «Ficaré un gat dins d'una capsa on hi ha un àtom radioactiu, i si decau es dispararà tot un mecanisme. Al final hi haurà un martell que baixarà, trencarà una ampolla d'àcid cianhídric (perquè fins i tot especifica l'àcid) i el gat morirà. Això només passarà si l'àtom es desintegra. Si no es desintegra, el gat viurà. Però si la capsa està tancada, quin és l'estat del gat?»

Aquí ve la paradoxa. La mecànica quàntica ens diu, de forma molt rigorosa, que la informació del sistema es troba en una superposició quàntica: que el gat sigui viu o que el gat sigui mort. Aquesta paradoxa va impressionar molta gent, i es va començar a generalitzar l'opinió que el gat era viu i mort alhora. No. La mecànica quàntica afirma que la informació sobre el gat és la superposició quàntica dels dos estats, però no que sigui viu i mort al mateix temps. També se sent dir que la mecànica quàntica afirma que pots ser en un lloc i en un altre alhora. No. Hi ha experiments en què potser no saps on ets i, per tant, has d'arrossegar la superposició.

Per il·lustrar que el gat de Schrödinger és un tema apassionant per a molta gent, s'han creat concursos de grafit del gat de Schrödinger. N'hi ha de molt divertits que il·lustren el pobre gat mort i viu i diuen: «Es busca viu i mort»; o hi apareix un metge que diu: «Senyor Schrödinger, tinc bones i males notícies sobre el seu gat.» És simpàtica, aquesta forma de fer-ne humor.

Veiem ja un primer aspecte molt interessant, i és que en el món quàntic cal arrossegar les informacions en superposicions. Podem designar l'estat "gat viu" com a «0» i l'estat "gat mort" com a «1». Així construïm la base de com manipularem la informació en l'àmbit quàntic. Atesa la novetat d'acceptar la superposició quàntica de 0 i 1, veiem que no és un bit clàssic d'informació; l'anomenarem bit quàntic o qbit. Una vegada tenim un qbit, la pregunta és si tot això és mentida o és veritat.

Us presento tres dels centenars de sistemes en què avui en dia els humans han aconseguit fer una superposició quàntica controlable de zeros i uns. En una banda, poso uns fotons que es poden fer amb polaritzacions. Hi afegeixo una trampa de ions que tenen els electrons excitats o no excitats i, a la dreta, una versió impressionant que és un corrent de superconductors que giren cap a la dreta o cap a l'esquerra. Cal acceptar la superposició de girar a la dreta i a l'esquerra. És a dir, la humanitat ja ha fet això. Per què no fer un pas més?

Imagineu-vos que tenim tres qbits. Quantes superposicions quàntiques hi haurà? Tot zeros, zero-zero-u, zero-u-zero..., vuit superposicions possibles. I poden aparèixer en un únic sistema físic. Amb un número «n» tindrà un número exponencial de superposicions.

Així, en una trampa de ions amb 1.000 qbits, els estats clàssics que es tracten són 2^{1000} . Això atorga un avantatge exponencial al tractament d'informació, que és el que estem assolint. Així s'il·lustra la seva magnitud.

En resum, en l'actualitat les persones podem controlar la informació en forma de qbits, i en un únic sistema físic podem tractar un número exponencial d'estats, tots al mateix temps, mentre que, amb un ordinador clàssic, només podrien tractar-se d'un en un.

Aquesta és la gran promesa de la computació. Un petit exemple: imagineu que zero-zero-zero és el 0; zero-u-zero en base 2 és el 2; u-u-zero és el 6... Podrem fer una operació anomenada «1» que actuï contra el meu sistema físic. Típicament són irradiacions de làsers, i el resultat s'obté d'haver sumat 1. S'ha aconseguit construir una màquina que suma 1 a tres números alhora amb una única irradiació del làser. O sigui, que un ordinador quàntic té aquesta propietat tan impressionant del paral·lelisme en aprofitar les lleis quàntiques de la natura.

Quan ens preguntem per la importància d'aquest fet, acabem apropant-nos al món de les finances i de la política. Quins problemes rellevants hi ha al món?

N'hi ha un de crític, que és factoritzar. Hi ha problemes “fàcils”: multiplicar, sumar... Fàcils vol dir que, per més que el número que es fa servir sigui molt gran, les operacions que es duen a terme no són gaires; és polinòmic. En canvi, hi ha problemes “difícils”: si vull factoritzar un número gran (descompondre'l en números primers), necessito moltíssimes operacions.

Factoritzar és difícil. La transcendència d'aquesta dificultat rau en el fet que totes les nostres comunicacions i transaccions (amb entitats bancàries, amb el núvol, en llegir el correu de Gmail...) utilitzen un protocol criptogràfic que les fa secretes. Així, un *hacker* no pot veure, per exemple, les transaccions que fem amb el banc ni robar-ne la clau. Es codifiquen amb criptografia clàssica basada en un problema matemàtic: per crear la clau es multipliquen dos números, el producte dels quals és la clau. S'envia, la rep el client, es codifica la clau i es reenvia.

Si un *hacker* veu passar la clau, la pot agafar, factoritzar i, amb els dos factors obtinguts, podria llegir el missatge que s'ha enviat. Per tant, la computació quàntica posa en perill ni més ni menys que totes les comunicacions secretes de la Terra. Ara potser enteneu per què Hillary Clinton afirma: «El repte de tenir un ordinador quàntic ens força a utilitzar tota la nostra intel·ligència per tirar endavant.»

«La diferència de potència en el món clàssic és exponencial a l'esforç. En el món quàntic és polinòmica a l'esforç.» El primer missatge que vull transmetre és que als nostres laboratoris estem construint les tecnologies que permetran trencar tots els codis que fem servir avui dia.

Als qui treballen en un banc o es dediquen a la política, sentir aquestes afirmacions els pot posar nerviosos. Pot ser que cerquin a Internet les companyies més importants que aposten per fer un ordinador quàntic i busquin els inversors necessaris. Veuran, de sobte, una correlació entre els inversors i el problema que trenca la mecànica quàntica. És a dir, actualment arribem a una situació en què ja no val ser empresari o polític i no conèixer les capacitats de la ciència. Aquesta situació és molt comparable a la del final de la Segona Guerra Mundial, quan la gent no comprenia que els humans començaven a controlar certes propietats de la física nuclear que finalment van permetre construir la bomba atòmica.

Ja existeixen els primers xips. A Barcelona estem posant en marxa el primer grup de tot el sud d'Europa que vol crear un processador quàntic, amb la

modèstia que implica no disposar de diners. Almenys gaudim dels coneixements de les lleis de la física, que és la part més dura. La computació quàntica no només es podrà desprendre de tota la criptografia clàssica, sinó que la potència extraordinària d'un ordinador quàntic ens permetrà fer moltes més coses que no són possibles en l'actualitat.

A tall d'exemple, podrem dissenyar medicaments de forma més subtil; ens permetrà simular les estructures químiques i també els sistemes que són quàntics al mateix temps. És a dir, farem servir un ordinador quàntic per entendre la mecànica quàntica. A més, podrem treballar qüestions d'optimització, i això és imposant: gairebé tots els problemes que ens afecten a la vida es relacionen amb l'optimització. Per exemple, podrem resoldre problemes de trànsit, de temporització, així com problemes d'entrenament de xarxes neuronals, atès que la capa d'intel·ligència artificial següent ja necessita xarxes neuronals de milers de capes i s'han d'entrenar. Segurament ho farem amb ordinadors quàntics.

La mecànica quàntica també proporciona una solució futura a la qüestió del secret en l'àmbit de les comunicacions. Hi ha dues maneres d'intentar resoldre l'actual problemàtica que hi ha en aquest àmbit a escala mundial. Una és fer servir la criptografia postquàntica, que consisteix a substituir els algorismes actuals per uns altres de resistents a un ordinador quàntic. Una altra és utilitzar criptografia quàntica pura, que és una nova forma de generar secret. La criptografia quàntica és molt senzilla d'entendre, i per això torno als fonaments per explicar com podem comunicar-nos de manera secreta.

El problema sempre és el mateix, i l'anomenarem Alice, Bob i Eve. L'Alice vol comunicar-se amb el Bob en secret, però hi ha l'Eve que vol conèixer el secret. L'Alice i el Bob poden ser Leo Messi i Andrés Iniesta, i l'Eve pot ser Cristiano Ronaldo. A la pràctica, perquè s'entengui millor qui és l'Alice i qui és el Bob, l'Alice ets tu, el Bob és el banc i l'Eve és un *hacker*.

Al web Norse es poden veure mapes d'atacs informàtics. És un web de control dels atacs informàtics a la Terra que mostra en directe tots els atacs senzills, és a dir, els que utilitzen protocols fàcils i que miren un port específic del teu ordinador. Això representa milers d'atacs per segon al món. Si la pregunta és si hi ha *hackers* actuant, la resposta és que n'hi ha milers per segon. Per tant, no és una qüestió intranscendent, sinó que ens trobem davant un problema autèntic.

Per fer criptografia quàntica s'aprofita la propietat esmentada al principi, la que deia que si jo mesuro, modifico. Si jo mesuro un electró, el modifico. En comptes de pensar que això és un impediment per fer coses, es pot utilitzar per al nostre profit. Aquesta és la idea bàsica. Per exemple, si envio un spin o un fotó polaritzat en direcció vertical cap a dalt i el mesuro en vertical, la mecànica quàntica diu que el trobaré cap a dalt. Si l'envio en direcció horitzontal i mesuro en vertical cap a dalt, tindrè un 50% de probabilitat de trobar-lo cap a dalt o cap a baix. És un fet de la mecànica quàntica, independentment que sigui un spin, un fotó polaritzat o el que sigui. Aleshores creem un protocol.

L'Alice comença a fer polaritzacions de fotons, per exemple, totalment aleatòries. Les envia i el Bob les mesura. Recordem que si era vertical cap a baix i es mesura en la direcció vertical, s'obté cap a dalt; si era horitzontal i es mesura en vertical cap a dalt, de vegades surt cap a dalt i de vegades cap a baix. Imaginem que ha sortit cap a dalt, és a dir, que la tercera línia, si ho mesuro horitzontalment, és a la dreta. Si el Bob fa públic en quines direccions ha mesurat l'Alice però no li diu el resultat, l'Alice és capaç de saber igualment que el Bob el 100% de les vegades ha trobat això; hi ha el 50% de probabilitats per a l'altra opció i el 100% de probabilitats per a l'altra.

Pot fer aquest càlcul, trucar al *New York Times* i dir: «Bob, elimina quan la probabilitat no sigui del 100%.» D'aquesta manera, envien estats quàntics sobre la xarxa i, amb un protocol aleatori d'enviar i de mesurar, l'Alice i el Bob aconsegueixen obtenir el mateix resultat i, per tant, establir una clau aleatòria. Això és la base de la criptografia. No obstant això, si apareix l'Eve, que vol interferir-hi i no sap com, mesurarà les polaritzacions a l'atzar en una direcció o una altra (vertical i horitzontal). Seguint els postulats de la mecànica quàntica, resultarà que un 25% de les vegades la seva acció pertorbarà el sistema de tal manera que l'Alice i el Bob no obtindran el mateix resultat.

Ras i curt: un fa una fibra òptica, hi envia fotons a l'atzar i l'altre els mesura com he explicat. S'estableixen uns qbits de control: si el 100% estan bé, ningú està espiant; si el 25% exacte estan malament, algú està espiant. I això es deu al fet que no hi ha manera de controlar com les persones modifiquem les propietats quàntiques de la matèria. Això està per sobre de tot: si algú mesura allò de què parlen l'Alice i el Bob, ho modifica. I no hi ha cap truc ni es pot fer res per canviar-ho.

En l'actualitat, s'inverteixen molts diners per tractar de no recórrer a tota la parafernàlia de fotons, sinó per provar de substituir l'algorisme que fem servir i deixar de multiplicar números i després factoritzar-los. D'això se'n diu criptografia postquàntica.

Qui inverteix en això? Respondrem que els bancs, però no és així. Actualment l'inversor més gran al món és la Xina, que és qui està creant aquesta criptografia esmentada, i en concret la desenvolupa al Tibet.

Finalment, faré esment del món de la política i els negocis, perquè això és el que afectarà la nostra vida en els deu anys vinents.

Per començar, cal entendre que la lluita rere aquest àmbit de la ciència és, en realitat, global. Tots hi lluitem. He parlat dels Estats Units, que tenen Google, IBM, Microsoft, DARPA (la xarxa militar), el Jet Propulsion Lab (que també és militar), Los Àlamos, les universitats... Avui dia, totes aquestes entitats disposen de prototips d'ordinadors quàntics. Per exemple, s'acaba de fer públic que recentment s'ha creat un ordinador de 22 qbits, IBM n'ha instal·lat a la xarxa un de 15, i a Internet es pot consultar el web d'IBM Quantum Experience i veure que, ara per ara, ja es pot fer un ús remot d'un ordinador quàntic.

Pel que fa a la Unió Europea, ja he esmentat que ha llançat el Flagship. A la resta del món hi trobem la Xina, amb el satèl·lit; països com el Canadà, que ha construït un ordinador quàntic que es diu D-Wave i que ja s'ha venut, ja és comercial; Singapur, on jo he treballat, o Israel, amb avenços molt importants en computació quàntica.

La lluita de les tecnologies es basa en aquestes cinc línies: computació, comunicació, sensors, simulació i algorismes. No us he parlat de les tres últimes, però us en donaré dos exemples perquè veieu la magnitud del progrés actual.

Per al control de dos àtoms, de com s'entrellacen, hem aconseguit fer rellotges atòmics que, avui dia, no són precisos en una part en un bilió, sinó en una part en un milió de milions, és a dir, una part en 10^{18} . Això és més precís que un segon a l'edat de l'univers. L'univers té 1.420 milions d'anys i estem parlant de 10^{17} segons. Aquests rellotges de què ja disposem als nostres laboratoris són més precisos que un segon a l'edat de l'univers. Per què necessitem un rellotge precís? Per exemple, per al GPS. Això obre les portes a tenir localitzacions a nivell de micra.

Imagineu-vos localitzar a l'escala d'una micra. Si en aquests moments tinguéssim a les mans un rellotge atòmic, seria possible posicionar un punt dins de l'habitació on ens trobem amb la precisió d'una micra. Seria com un bisturí infinitament més precís que la mà d'un humà fent una operació. És un salt de precisió.

Un altre exemple que m'agrada molt és que avui en dia aconseguim agafar partícules de diamant, que és carbó 12 perfecte, fer-hi un forat a dintre i ficar-hi un únic àtom de nitrogen. El carbó el protegeix. La propietat quàntica del nitrogen, anomenada spin, es controla des de l'exterior, i és molt estable perquè és dintre del carboni. Si a fora hi col·loquem una proteïna, resulta que les propietats de l'spin són sensibles a l'estructura de la proteïna. Per tant, podem començar a saber coses d'una proteïna amb un únic àtom.

Fem un microscopi amb un àtom. Res d'enviar llum de nou: un àtom. No sé com explicar com és d'impressionant el salt entre no controlar centenars de milers o milions d'àtoms alhora sinó un, que és la gran frontera de la precisió. Fa un temps feia xerrades de divulgació científica i al final sempre em feien la mateixa gran pregunta: «I això, quan?» La primera resposta és que ja hi ha coses: tenim la màquina que ja he esmentat, la D-Wave. També hi ha un físic americà pagat per Google que ha dit que a finals d'aquest any aconseguirà el que en diu «supremacia quàntica», una expressió amb què gran part de la meua comunitat no està d'acord. Per primera vegada, un càlcul fet per un ordinador quàntic ja no serà reproduïble pel més potent dels ordinadors clàssics del món, i amb aquest pas farem el salt. Per primera vegada tenim una potència de càlcul superior a la clàssica.

També voldria fer referència a tots els grups científics d'arreu: sempre em sap greu no esmentar la ciència autèntica bàsica que hi ha en totes les institucions.

Però per a mi la gran pregunta no és quan. Per a mi, la pregunta és qui. Es parla sempre d'avenços tecnològics i la pregunta és qui dominarà això; a qui pagaré jo.

Deixeu-me ser més concret. Quan dic *qui* vull dir si serà una nació (per tant, subjecta a les lleis internacionals que fem servir cada dia) o serà una corporació. Serà Google? Qui serà? La recerca que es faci serà oberta o propietària? Ja vam assistir a aquesta lluita amb la seqüenciació del genoma humà. De qui és el genoma humà, d'una corporació o de tots nosaltres? Per tant, aquí es disputa un fet molt important, i és si les institucions públiques han de finançar la recerca

d'aquest estil només pel fet que no quedi en mans de corporacions. I encara hi ha una pregunta més rellevant: hi haurà política darrere de tot això? La bomba atòmica precisament va provocar tota la guerra freda, o sigui que òbviament sí que hi ha política sempre que hi ha un instrument potent, i la computació és un instrument potent: tota la nostra vida es basa en la computació.

També voldria referir-me al món dels negocis. A mi sempre m'agrada dir això: sí o sí. Hi ha noves tecnologies quàntiques disruptives. Cal demanar-se si s'està ben informat i saber si això afecta o no afecta el nostre negoci. Afecta la banca? Sí. Afecta el món de la farmàcia? Sí. Afecta el fet de fer un full d'Excel per controlar els comptes? No. No tot el que és càlcul necessita gran quantitat de càlcul, és a dir que certs negocis sí que es veuran afectats.

L'any 1990 jo era al CERN quan es va inventar el WWW. És una eina de comunicació que s'utilitza actualment i que vam començar a emprar els científics al CERN per enviar-nos dades entre nosaltres. En tornar a Espanya deia a tothom que podria accedir a l'ordinador d'una altra persona. La computació quàntica és brutal. És un canvi de paradigma, com ho ha estat Internet.

El coneixement avançat no només necessita diners, sinó talent. Per tant, cal apostar per les persones que en saben. Això dona un avantatge als països capdavaners i, encara que no ho sembli, tot Europa és capdavanera. I les nacions que no disposen del talent suficient per aconseguir-ho van a la cua, fet que les posa en situació de perill.

Tanmateix, sempre que hi ha un perill hi ha una oportunitat. Així que ja hi ha inversors per tot el món esmerçant recursos en assumptes de computació quàntica. Encara que aquests inversors siguin advocats, per posar un exemple, saben que hi ha un avantatge si s'inverteix en aquesta matèria.

En l'esfera política, els grans països estan totalment bolcats en això. A Espanya agrada la idea de ser un jugador important (a Andorra diria que no us afecta).

Si esteu preparats per a un futur quàntic, segurament ara la superposició "de cap a dalt" ha començat; ja hi tenim un trosset "de cap a dalt".

Moltes gràcies

XXXIV UNIVERSITAT D'ESTIU D'ANDORRA
DEL 4 AL 7 DE SETEMBRE DEL 2017

Sessió del 7 de setembre del 2017

CONFIANZA EN LA SOCIEDAD DEL RIESGO

José Antonio López Cerezo

Catedràtic de lògica i filosofia de la ciència
Universitat d'Oviedo

Catedrático de lógica y filosofía de la ciencia
Universidad de Oviedo

Professeur des universités en logique et philosophie de la science
Université d'Oviedo

Per citar aquest article / Para citar este artículo / Pour citer cet article :

LÓPEZ CERESO, José Antonio. « Confianza en la sociedad del riesgo » [en línia], a: Universitat d'Estiu d'Andorra (34a : 4 - 7 set., 2017 : Andorra la Vella). *Tecnologia i humanitat, llums i ombres = Tecnología y humanidad, luces y sombras = Technologie et humanité, lumières et ombres*. Andorra: Govern d'Andorra. Ministeri d'Educació i Ensenyament Superior. Universitat d'Estiu d'Andorra, 2018, p. 96-112 (978-99920-0-857-7) <<http://www.universitatestiu.ad/UEA2017>>

Dos fenómenos relacionados han condicionado la evolución política de nuestras sociedades durante las últimas décadas. En primer lugar, una creciente preocupación social por los riesgos y efectos adversos derivados del desarrollo tecnológico. El cambio climático, la amenaza nuclear, los nuevos carcinógenos y otras muchas consecuencias de un intenso desarrollo industrial de base tecnológica son hoy objeto de preocupación social e institucional. En segundo lugar, otro fenómeno con gran relieve en nuestros días es un creciente protagonismo político por parte de una diversidad de públicos que reclaman más transparencia, rendición de cuentas y participación. Los poderes públicos están hoy sometidos a un mayor escrutinio y más fuertes demandas de implicación ciudadana en todos los ámbitos de interés social, incluida la ciencia y la tecnología. Es un estado de cosas que se ha visibilizado especialmente en los países más industrializados, pero que tiene un alcance mundial debido a las características globales de la llamada sociedad del riesgo y la creciente internacionalización de las redes del comercio y la comunicación.

En este marco, las crisis alimentarias, sanitarias e industriales de las últimas décadas han producido un paulatino deterioro de la confianza institucional. Es un fenómeno que se manifiesta con gran intensidad en Europa occidental, aunque también se expresa a escala global. La opinión pública se muestra cada vez más recelosa acerca de los mensajes de la industria y las autoridades reguladoras respecto a la seguridad de los productos y sistemas tecnológicos. La conocida como sociedad del riesgo parece devenir también en una «sociedad postconfianza»: vivimos rodeados de artefactos e instalados en la sospecha. En esta contribución examinaremos algunas de las claves de la sociedad del riesgo, relativas particularmente a la comunicación y gestión del riesgo, para comprender mejor la naturaleza y dinámica de la confianza en la actual sociedad tecnológica. Sobre esta base, defenderemos el valor de la conciencia crítica para la generación de una ciudadanía madura y promover la gobernanza democrática en el mundo contemporáneo.

La sociedad del riesgo: percepción, comunicación, gestión

Desde su propuesta por el sociólogo alemán Ulrich Beck en 1986, el concepto de sociedad del riesgo ha tenido una difusión extraordinaria en el ámbito académico. Mediante esta noción, Beck hace referencia a la ubicuidad y magnitud

del riesgo en el mundo tecnológico y globalizado de nuestros días. Pero no se trata solo de que hoy tengamos que afrontar más o mayores riesgos que en el pasado; lo que está en juego es una peligrosidad cualitativamente distinta. Suelen señalarse tres características al respecto (López Cerezo y Luján, 2000). En primer lugar, las amenazas actuales han cobrado un potencial catastrófico nunca antes alcanzado: se trata de catástrofes repentinas o graduales que no están sujetas a las tradicionales fronteras entre países, clases sociales o generaciones. Los accidentes nucleares, el cambio climático, los envenenamientos farmacéuticos o la lluvia ácida son daños catastróficos que no respetan fronteras entre países, ricos y pobres, o padres e hijos. Pero además, en segundo lugar, la sociedad del riesgo consiste también en la creciente presencia de decisiones arriesgadas dentro de la conducta individual. Vivimos en una sociedad crecientemente tecnificada, con una extraordinaria oferta de cursos de acción en la vida diaria de los ciudadanos. Los ámbitos de acción humana, antes regulados por una tradición vinculante, ahora constituyen problemas de decisión y asunción de responsabilidad: en el consumo de medicamentos, la utilización de sistemas de transporte o la compra de productos en el supermercado. Una tercera característica es la politización del peligro en la sociedad actual. Muchos de los daños que en el pasado se atribuían a la naturaleza, al destino o a seres sobrenaturales, y eran vistos así como peligros inevitables, hoy son habitualmente imputados a acciones y decisiones humanas, y, por tanto, se les otorga la forma de riesgos. Decir de algo que es un riesgo no solo es hablar de daños potenciales para la salud, sino también imputar responsabilidad a algún agente social por acción o por omisión de la acción. El peligro se transforma así hoy en un problema político y en resorte para la movilización de los agentes sociales en la arena pública.

Efectivamente, la evolución política reciente se ha caracterizado por una creciente preocupación social, política y académica por los riesgos derivados del desarrollo tecnológico. La tematización social del riesgo ha venido acompañada del estudio de la percepción social del riesgo, la profesionalización de la evaluación del riesgo y la institucionalización de la comunicación del riesgo. La comprensión de los procesos de aceptación social del riesgo, la anticipación técnica de impactos y la comunicación social al respecto son elementos fundamentales para la toma de decisiones y para reducir la conflictividad social del proceso de desarrollo.

El desafío, desde las instituciones, es la adaptación de la toma de decisiones y la comunicación social a un tema tan técnico y complejo como la consideración de frecuencias relativas e incertidumbres, contrapesando distintas alternativas con probabilidades e impactos estimados heterogéneos (National Research Council, 1996). El panorama se torna más complejo si tenemos en consideración las ambigüedades en este campo, con diversas interpretaciones de lo que es un daño o un riesgo o lo que significa «seguro», así como las disonancias entre la percepción social del riesgo y el análisis técnico del mismo (Slovic, 2000).

En efecto, frente al criterio técnico que hace equivalente el riesgo a la probabilidad del daño y la magnitud del impacto, el público asume otros referentes para decidir la aceptabilidad y tiende a preocuparse por los riesgos no compensables, injustamente distribuidos o involuntarios, aunque tengan baja probabilidad o bajo impacto. Dentro del llamado enfoque psicométrico, esto es lo que se conoce como disonancia psicológica en aceptabilidad del riesgo: una gran diversidad de factores, como el conocimiento, los valores, las actitudes, las emociones, etc., influyen sobre el modo en que los individuos perciben y valoran los riesgos. Lo que los expertos ven como un riesgo aceptable puede ser perfectamente inaceptable para la población o un grupo social particular.

El panorama se agrava si tenemos en cuenta el fenómeno de la amplificación del riesgo (Kasperson y Stallen, 1991). Los eventos físicos susceptibles de ser reconocidos como riesgos son percibidos de formas muy distintas por diversas fuentes, intensificando o debilitando la percepción de las amenazas (Renn, 2008: 217), y los medios de comunicación con frecuencia potencian la capacidad amplificadora de los agentes sociales. Como es bien conocido, la industria y los movimientos ecologistas habitualmente ven de formas distintas los mismos problemas, focalizando el tema y transmitiendo mensajes diferenciados que confirman su propia visión del mundo. Esta rivalidad no refleja necesariamente intención de manipular o de mentir, ni siquiera desinformación, solo la plasticidad interpretativa de la información que define un problema, las diferentes perspectivas para seleccionar y procesar una información normalmente fragmentada e incompleta. La polisemia de términos como *riesgo cero* o *riesgo significativo* no hace más que complicar el panorama y facilitar la amplificación en la transmisión de información sobre riesgos (Jardine y Hrudey, 1997).

Por tanto, la complejidad del razonamiento estocástico, las incertidumbres y ambigüedades, la disonancia psicológica legos-expertos en valoración y aceptabilidad, la tendencia a la amplificación de riesgos de los medios de comunicación y agentes sociales, junto con las crecientes demandas sociales de rendición de cuentas a las instituciones, genera un terreno muy propicio para la polémica pública y plantea formidables desafíos para la comunicación y gestión del riesgo en la sociedad actual.

Naturaleza y dimensiones de la confianza

En este contexto, suele plantearse el valor de la confianza como activo crítico para la gobernanza en la sociedad del riesgo. La confianza en los gestores del riesgo (en las instituciones y sus representantes) puede compensar una percepción del riesgo negativa y contrarrestar las posibilidades de instrumentación de los riesgos por parte de los agentes sociales. Y, al contrario, la desconfianza puede llevar a la movilización social y la confrontación de actores sociales aun cuando los riesgos sean percibidos como pequeños (Renn, 2008: 222).

La noción de confianza es una noción compleja. En tanto que virtud intelectual y virtud moral, incluye capacidades cognitivas y afectivas imposibles de describir «proceduralmente». No hay algoritmos que nos permitan determinar la confianza (Zagzebski, 1996: 46), una cualidad a medio camino entre la candidez y el recelo. Una base elemental de confianza en facultades, procesos y personas es necesaria para la vida misma de los individuos: debemos confiar en nuestros sentidos para la formación de creencias, debemos confiar en la regularidad de la naturaleza para la adopción de pautas regulares de comportamiento, debemos confiar en nuestros profesores para la adquisición de conocimiento, etc. (Ruse, 2005).

En tanto que virtud, la confianza marca las antípodas de otra virtud, la autonomía, que también se manifiesta tanto en el plano intelectual como en el práctico. En este sentido, la confianza y la heteronomía o dependencia están estrechamente asociadas: confiamos en nuestros colegas del equipo de remo o del laboratorio, y en este sentido dependemos de ellos para poder alcanzar nuestros objetivos. Debemos, no obstante, diferenciar estas nociones. El concepto de confianza es más restringido que el de dependencia: la confianza

implica dependencia, pero no a la inversa, pues podemos depender de otras personas aunque desconfiemos de ellas (Zagzebski, 1996: 160).

Estas características permiten relevar otros aspectos de la noción de confianza: la expectativa, la vulnerabilidad y el riesgo (McCrew, 2015: 416-18). La confianza puede también entenderse en términos de lo que esperamos respecto a nuestros semejantes y el mundo que nos rodea, y, en este sentido, involucra la expectativa o esperanza de la realización del objeto u acción diana de la confianza. Pero el agente que confía, en tanto que dependiente de otro sujeto o institución para la realización de la acción, se sitúa en una posición vulnerable y, por tanto, de riesgo respecto al fracaso o incumplimiento.

En el ámbito de la vida pública, el término *confianza* hace referencia al juicio sobre el grado en que una organización satisface las expectativas de los actores sociales respecto al cumplimiento de su misión institucional, si lo hace con profesionalidad, honestidad, competencia, etc. Podemos entender la *credibilidad* como una variedad de la confianza referida únicamente a la comunicación, definiéndola como el grado en que los esfuerzos comunicativos de una organización satisfacen las expectativas sociales en términos de honestidad, transparencia y profesionalismo (Renn, 2008: 223; Walaski: 20 ss.).

De acuerdo con la literatura de percepción del riesgo, a pesar de los debates puntuales en estudios empíricos (Pidgeon *et al.*, 2007: 119 ss.), hay tres dimensiones principales en la confianza y, por tanto, tres modos de entenderla o de ponderar sus factores al analizar una relación de confianza:

1. la competencia percibida (el grado de experticia técnica, incluyendo la eficiencia);
2. la integridad percibida (independencia, falta de sesgo, sinceridad), y
3. la empatía percibida (cercanía afectiva, similitud de valores o cosmovisiones).

Hay que tener en cuenta que el ejercicio de la confianza puede combinar diferentes modalidades (competencia, integridad, empatía) y, además, hacerlo con distintas intensidades. También cabe introducir mayor precisión analítica diferenciando niveles de confianza en el ámbito de la comunicación, en función de la fuente y de la situación: confianza en el mensaje; confianza en el comunicador; confianza en la institución en la que se genera el mensaje, y clima general de confianza desde un punto de vista macrosocial.

Estos resultados de la investigación empírica sientan las bases para extraer algunas lecciones relativas a la comunicación del riesgo (Renn, 2008: 228-230). En primer lugar, es importante mejorar la confianza en los mensajes. Para ello es necesario explicar las funciones del análisis de riesgos y el proceso de toma de decisiones en la gestión de los mismos, cuidando no omitir la incertidumbre y los condicionantes de ese análisis y esa gestión. Se trata de transmitir una imagen de competencia y atención a otros puntos de vista. También, en segundo lugar, es importante mejorar la confianza en los comunicadores como profesionales. Deben mostrar empatía por las audiencias, hacer referencia a experiencias personales y transmitir una imagen de competencia y honestidad. Relevante, en tercer lugar, es mejorar la credibilidad de la institución. Para ello deben mostrarse los objetivos y mandatos institucionales, la inexistencia de agendas ocultas y la apertura de la institución a las demandas y sensibilidades públicas (creando fórums de discusión ciudadana y habilitando otros mecanismos de participación que aseguren una comunicación bidireccional). Y, por último, es también importante cuidar la mejora del clima social de confianza. Se trata aquí de una tarea colectiva que no depende de una única institución o comunicador, y en la que tiene un papel muy importante el gobierno.

La sociedad postconfianza

La mala noticia es que no corren buenos tiempos para la confianza. Una consecuencia muy importante de las crisis alimentarias, sanitarias e industriales de las últimas décadas, sobre el trasfondo de las protestas originarias de los años 60 contra la energía nuclear y el deterioro de la naturaleza, ha sido la paulatina implantación de lo que el sociólogo sueco-americano Ragnar Löfstedt ha llamado *sociedad postconfianza* (Löfstedt, 2009: xviii). La opinión pública se muestra cada vez más recelosa acerca de los mensajes de la industria y las tradicionales autoridades reguladoras respecto a la seguridad de los productos y sistemas tecnológicos.

Negligencia, mentiras, vacío informativo, afán de lucro, sobornos, corrupción y otros calificativos similares han sido ampliamente utilizados por los medios de comunicación para describir escándalos como el del aceite de colza en la España de principios de los 80, la sangre contaminada con SIDA en Francia a mediados de los 90, la gripe aviar de finales de los 90, las dioxinas de los

pollos belgas del verano de 1999, la crisis de las vacas locas en la Europa de los años 90, el antiinflamatorio Vioxx en EE. UU. a principios de 2000 y otros muchos fármacos (Lipobay, Trasylool, etc.) que han seguido la estela de la tristemente famosa Talidomida, la leche materna contaminada en China en 2008, la ineficiente descontaminación radioactiva de Fukushima, o más recientemente, la noticia de los automóviles trucados fabricados por Volkswagen. Son escándalos que han afectado continuamente a los países altamente industrializados, y especialmente a Europa, aunque tienen un alcance global. Han producido una importante erosión de la confianza en los poderes públicos, como, por ejemplo, pone de manifiesto el World Values Survey y otros estudios demoscópicos (Löfstedt, 2009: xix, 4).

Ragnar Löfstedt (2009: 4) ofrece un abanico más completo de factores que, en su opinión, han contribuido a dicha erosión de la confianza. Merece la pena destacar:

- Escándalos y crisis sanitarias, industriales y alimentarias.
- Creciente dependencia de la ciencia respecto a la financiación privada y los intereses económicos.
- Visibilidad mediática de la controversia, la incertidumbre y el fraude en ciencia.
- Mayores niveles educativos en la población, junto con una mayor capacidad para comprender y valorar las aplicaciones de la ciencia.
- Alienación social, resultado del consumismo masivo, la cultura de los medios de comunicación y la uniformización tecnológica.
- Crecimiento del activismo ciudadano, tanto en modelos de participación invitada como en iniciativas de participación no invitada.

Son factores que conjuntamente alimentan el escepticismo y los recelos ciudadanos. Se trata, en cualquier caso, de una erosión continua de la confianza que, como muestran los estudios empíricos sobre percepción del riesgo, está asociada a una creciente aversión al riesgo por parte de la población. En efecto, de acuerdo con P. Slovic y el enfoque psicométrico (p. ej. Slovic 1982), la confianza en los gestores del riesgo es una de las principales variables para explicar la percepción pública del riesgo: a mayor desconfianza, más se intensifica la percepción del riesgo.

Desde el punto de vista tradicional, la confianza genera una gestión eficiente a través de la producción de capital social. Sin embargo, en principio, la confianza es solo una forma de fundamentar una gestión del riesgo eficiente, algo que es importante tener en cuenta, dado que es mucho más fácil perder la confianza que ganarla. Cuando la confianza en las personas u organismos falla, seguimos estando dispuestos a depender de ellos, siempre que contemos con estructuras institucionales apropiadas, como leyes que se cumplan, independencia judicial, transparencia en la gestión, rendición de cuentas, libertad de información y oportunidades de participación. Son estructuras diseñadas para eliminar la necesidad de confianza o, al menos, reducir los costes en caso de que esa confianza se vea defraudada (Löstedt, 2009: xi). Expresado brevemente: si falla el «apretón de manos», entonces lo que necesitamos es un contrato.

En ese sentido, los efectos de las recientes crisis tecnológicas han llevado también a la confianza institucional a una situación crítica que ha resultado, en nuestros países, en un fortalecimiento de las estructuras institucionales requeridas para una gestión eficiente a la vez que democrática. Facilitar la gobernanza a través de la promoción de la autonomía y el protagonismo social es también fortalecer la democracia en nuestras sociedades. De modo que, y esta es la buena noticia, el debilitamiento de la confianza está teniendo un efecto saludable para la democracia, al menos en los países postindustriales.

Dinámica de la confianza

La situación es realmente más compleja que eso. En la *sociedad postconfianza* no se trata meramente de la disipación de la confianza y su sustitución por estructuras institucionales que garanticen la gobernanza. Más bien le ocurre como al riesgo en las situaciones de intercambio de riesgos, es decir, la eliminación o reducción de un riesgo (riesgo diana) para una población conlleva el traslado de dicho riesgo (riesgo contrapeso) para otra población o la aparición de un nuevo riesgo para esa u otra población (Graham y Wiener, 1995). Por ejemplo, la retirada del amianto en las antiguas construcciones permite reducir la exposición a este agente cancerígeno por parte de los usuarios de dichas instalaciones, pero, a cambio, expone a los operarios que realizan la extracción a una exposición mucho mayor. O podemos consumir omeprazol para evitar

los efectos adversos para el estómago del ibuprofeno, pero solo a costa de sustituir los efectos secundarios del antiinflamatorio por los nuevos efectos secundarios del protector estomacal. Al riesgo le ocurre algo similar a lo que sucede con la energía: no se destruye (aunque sí puede crearse), sino que se desplaza y se transforma.

Los intercambios de riesgos se pueden clasificar en cuatro tipos, teniendo en cuenta dos dimensiones: la población afectada y el riesgo contrapeso (Graham y Wiener, 1995). En una tabla:

		Comparado con el riesgo diana, el riesgo contrapeso es:	
		<i>Del mismo tipo</i>	<i>De diferente tipo</i>
Comparado con el riesgo diana, el riesgo contrapeso afecta a:	<i>A la misma población</i>	Desplazamiento de riesgos	Sustitución de riesgos
	<i>A poblaciones diferentes</i>	Transferencia de riesgos	Transformación de riesgos

En el caso de la confianza, esta más que desaparecer, migra y puede cambiar de naturaleza. Los mismos individuos y grupos sociales que antes depositaban su confianza en el gobierno y la industria ahora lo hacen en las ONG, la justicia o el mundo académico. Redirigen su consumo informativo hacia otras fuentes y pueden acceder a una diversidad de canales (como la televisión de 24 horas y especialmente Internet) que hace que dejen de ser dependientes de las autoridades para recibir información.

Mas es una confianza que también tiende a cambiar de naturaleza, enfatizándose la dimensión de la empatía a costa de la dimensión de la independencia (en el caso de los grupos de interés), la dimensión de la competencia a costa de la dimensión de la empatía (en el caso del mundo académico) o la dimensión de la independencia a costa de la dimensión de la empatía (en el caso de la judicatura). Retirar la confianza al gobierno por la gestión opaca y controvertida de una amenaza ambiental denunciada en los medios de comunicación, puede llevarnos a depositar la confianza en organizaciones ecologistas que consideramos más independientes de la industria y, por tanto, más creíbles (transferencia de la confianza: mismo tipo de confianza, diferente agente social depositario);

o retirar la confianza en los médicos por sus malas noticias sobre una enfermedad que padecemos y su falta de sensibilidad con los pacientes, puede hacernos redirigir equivocadamente un nuevo tipo de confianza hacia homeópatas, que sí son capaces de proporcionarnos alguna esperanza y nos hablan sobre lo que nos preocupa en un lenguaje comprensible (transformación de la confianza: diferente tipo de confianza, diferente agente social). Este reconocimiento nos permite comprender el enorme poder que han alcanzado en las últimas décadas esos grupos de interés, las instituciones científicas y las ONG independientes, respecto a su capacidad de influencia sobre los poderes públicos (Löfstedt, 2009: xv).

Podemos resumir en un nuevo cuadro ese fenómeno del intercambio de confianza:

		Comparada con la confianza diana la confianza contrapeso es:	
		<i>Del mismo tipo</i>	<i>De diferente tipo</i>
Comparada con la confianza diana, la confianza contrapeso es depositada en:	<i>El mismo tipo de agente social</i>	Desplazamiento de la confianza	Sustitución de la confianza
	<i>Un tipo de agente social diferente</i>	Transferencia de la confianza	Transformación de la confianza

No prescindimos simplemente de la confianza para ordenar nuestra vida sobre la base de relaciones contractuales; como ha señalado la literatura psicológica, además de ser necesaria para la vida social, la confianza es un rasgo de personalidad de gran relevancia para la felicidad de las personas (DeNeve y Cooper, 1998).

Mas la potenciación de la autonomía en detrimento de la dependencia institucional en la sociedad contemporánea no está libre de riesgos. Se estimula a los ciudadanos a tomar sus propias decisiones sobre aceptabilidad de riesgos. Pero son decisiones no informadas por las autoridades reguladoras, sino por los agentes sociales que resultan, en cada momento, tener las estrategias de comunicación más eficientes. Es un escenario en el que las alertas infundadas pero bien comunicadas pueden causar con cierta facilidad una alarma públi-

ca considerable, como se ha mostrado con el sector farmacéutico (Löfstedt, 2009: xv), si bien lo mismo podría decirse de la gestión por las autoridades reguladoras de recientes amenazas sanitarias como la del virus H1N1.

La fórmula habitualmente invocada para superar la desconfianza es abrir la toma de decisiones y los procesos de comunicación a la participación de los agentes sociales, y particularmente adoptar estrategias de gestión deliberativa de riesgos implementando mecanismos que involucren a los agentes sociales afectados o interesados.

En este sentido, Löfstedt (2009: 10, 21, 129, 132) alerta sobre el riesgo de potenciar la deliberación (estrategias de gestión deliberativa del riesgo) en contextos en los que hay una alta confianza pública y una baja incertidumbre respecto al riesgo. Aun cuando la incertidumbre sea considerable, al igual que el impacto potencial, este autor aconseja evitar experimentos deliberativos si la confianza en los gestores es alta, pues esos espacios deliberativos podrían crear dificultades a la eficiencia de la gestión e incluso socavar dicha confianza a través de la entrada de grupos de interés que, enfrentados con la administración, pueden tratar de aprovechar esos espacios para promover sus propios intereses. Debemos, además, tener en cuenta que son procesos largos y costosos, pues pueden implicar muchos meses e incluso años con un alto coste económico.

Por el contrario, en situaciones en las que hay una baja confianza pública, este autor recomienda técnicas específicas de gestión del riesgo, aunque la técnica seleccionada debería depender de los motivos de la desconfianza y el contexto donde se produce (Ibíd., 125-127). Debemos al respecto tener en cuenta las tres dimensiones en las que puede expresarse la confianza, señaladas más arriba: competencia, integridad y empatía. En el primer caso, la solución lógica sería reforzar con asesores técnicos o económicos a los tomadores de decisiones. En el segundo y tercer casos, en los que los reguladores o la industria son vistos como parciales, o en los que hay una marcada discrepancia valorativa o divergencia de cosmovisión respecto, por ejemplo, al modo de plantear el problema, se requeriría introducir algún tipo de estrategia deliberativa de participación ciudadana.

En este último caso de las divergencias de cosmovisión (falta de empatía), y particularmente en los contextos en los que la participación no es una iniciativa de la administración o los gestores del riesgo, la restauración de la confianza

podría requerir complementar la estrategia deliberativa con algún tipo de mecanismo para la toma compartida de decisiones en la caracterización o gestión del riesgo, no orientadas a la formación de consensos, sino más bien a lograr acuerdos mutuamente aceptables (Rowe y Frewer, 2005; Bouwel y Oudheusden, 2017).

Reflexión final

En la literatura de teoría política y gestión del riesgo (p. ej. Slovic, 2000), encontramos con frecuencia la idea de que la confianza es un activo capital para el buen funcionamiento de una sociedad. La confianza es ciertamente un elemento central del capital social en la sociedad contemporánea, pero quizá tiende a sobrevalorarse en menoscabo del escrutinio público y la rendición de cuentas. Las vacas locas, las dioxinas en alimentación, y otras crisis recientes que han afectado especialmente a los países europeos, junto con la intensificación del activismo ciudadano que demanda participación, han generado un nuevo escenario en el que no es posible ni quizá deseable recuperar el rol tradicional de la confianza institucional como apoyo principal para el eficiente funcionamiento social.

Como señala Ragnar Löfstedt (2009), la falta de confianza en la sociedad no es necesariamente mala. Entre el rechazo visceral y la aceptación emocional, entre el recelo y la candidez, hay un amplio y fecundo territorio para la que podemos denominar *confianza crítica* (Poortinga y Pidgeon, 2003). La confianza en realidad no desaparece, solo se matiza mediante la crítica respecto a los actores tradicionales (gobierno, industria) y se redirige como activo hacia nuevos actores (ONG, judicatura, universidades), cambiando con frecuencia de naturaleza.

Desde un punto de vista demoscópico, se trata de la confianza crítica que puede hallarse en los «implicados desconfiados» (*distrustful engagers*) de la encuesta británica PAS de 2014 (Ipsos MORI, 2014) o la encuesta española PSCT de 2014 (Cámara Hurtado *et al.*, 2017), así como la población «mucho-mucho» (muchos beneficios-muchos riesgos) de la Encuesta Iberoamericana de 2007 (FECYT-OEI-RICYT, 2009). Son ciudadanos muy interesados en la ciencia y que se sienten informados al respecto, con opiniones cualificadas y diferen-

ciadas respecto a distintos ámbitos y aplicaciones de la ciencia y la tecnología. Piensan que la ciencia es en general beneficiosa para la sociedad, aunque son conscientes y cautelosos respecto a los riesgos que acompañan a su desarrollo. Son los denominados por Martin Bauer y colaboradores *escépticos leales*: una población ubicada en el extremo derecho de su conocida U invertida, en la asociación entre conocimiento y actitud favorable característica especialmente de las sociedades posindustriales y las grandes urbes metropolitanas.

Se trata de una actitud crítica que no ha sido objeto hasta el momento de la atención merecida en el estudio y la medición de la cultura científica, ni ha tenido el lugar que le corresponde en las políticas y los programas de promoción y comunicación social de la ciencia. En cualquier caso, en un mundo en continua y acelerada transformación por efecto de la ciencia y la tecnología, con una diversidad de actores pugnando por recursos limitados en la arena pública, una cierta dosis de escepticismo y de cautela en una ciudadanía crítica y familiarizada con la ciencia es hoy fundamental para generar rendición de cuentas y espacios de participación ciudadana, y parece un buen indicador de una actitud madura que contribuye a la gobernanza en la sociedad del riesgo.

Referencias

- BAUER, M.W.; SHUKLA, R. y ALLUM, N. (eds.) (2012). *The Culture of Science: How the Public Relates to Science Across the Globe*. Nueva York: Routledge.
- BECK, Ulrich (1986). *Risk Society: Towards a New Modernity*. Londres: Sage, 1992.
- BOUWEL, J.V. y OUDHEUSDEN, M.V. (2017). “Participation Beyond Consensus: Technology Assessments, Consensus Conferences and Democratic Modulation”, en *Social Epistemology* 31/6: 497-513.
- CÁMARA HURTADO, M., MUÑOZ VAN DEN EYNDE, A. y LÓPEZ CEREZO, J.A. (2017). “Attitudes towards Science among Spanish Citizens. The Case of Critical Engagers”, en *Public Understanding of Science*, DOI: 10.1177/0963662517719172.
- DENEVE, K.M. y COOPER, H. (1998). “The Happy Personality: A Meta-Analysis of 137 Personality Traits and Subjective Well-Being”, en *Psychological Bulletin* 124/2: 197-229.
- FECYT-OEI-RICYT (2009). *Cultura científica en Iberoamérica. Encuesta en grandes núcleos urbanos*. Madrid: FECYT. <<http://icono.fecyt.es/informespublicaciones/Documents/CulturaCientificaEnIberoamerica.pdf>> (acceso: 6-3-14).
- GRAHAM, John D. y WIENER, Jonathan B. (eds.) (1995). *Risk versus Risk: Tradeoffs in Protecting Health and the Environment*. Cambridge, Mass.: Harvard University Press.
- Ipsos MORI (2014). *Public Attitudes to Science 2014*. <<https://www.ipsos-mori.com/Assets/Docs/Polls/pas-2014-main-report.pdf>> (acceso: 26/05/15).
- JARDINE, Cynthia, y HRUDEY, Steve (1997). “Mixed Messages in Risk Communication”, en *Risk Analysis* 17/4: 489-498.
- KASPERSON, Roger y STALLEN, Pieter (eds.) (1991). *Communicating Risks to the Public*. Dordrecht: Kluwer.
- LÖFSTEDT, Ragnar E. (2009). *Risk Management in Post-Trust Societies*. Londres: Earthscan.
- LÓPEZ CEREZO, J.A. y LUJÁN, J.L. (2000). *Ciencia y política del riesgo*. Madrid: Alianza.
- MCCRAW, Benjamin W. (2015). “The Nature of Epistemic Trust”, en *Social Epistemology* 29/4: 413-430.
- National Research Council, EE. UU. (1996). *Understanding Risk: Informing Decisions in a Democratic Society*. Washington, DC: National Academy Press.
- PIDGEON, N., POORTINGA, W. y WALLS, J. (2007). “Scepticism, Reliance and Risk Managing Institutions: Towards a Conceptual Model of ‘Critical Trust’”, en: SIEGRIST, M., EARLE, T.C. y GUTSCHE, H. (eds.). *Trust in Risk Management: Uncertainty and Scepticism in the Public Mind*. Londres-Washington DC: Earthscan.

- POORTINGA, W. y PIDGEON, N. (2003). "Exploring the Dimensionality of Trust in Risk Regulation", en *Risk Analysis* 23/5: 961-972.
- RENN, Ortwin (2008). *Risk Governance: Coping with Uncertainty in a Complex World*. Londres: Earthscan.
- ROWE, G. y FREWER, L. (2005). "A Typology of Public Engagement Mechanisms", en *Science, Technology and Human Values* 30/2: 251-290.
- RUSE, Michael (2005). "Evolutionary Biology and the Question of Trust", en: KOERTGE, Noretta (ed.), *Scientific Values and Civic Virtues*. Oxford: Oxford University Press.
- SLOVIC, Paul (1982). "Why Study Risk Perception?", en *Risk Analysis* 2/2: 83-93.
- SLOVIC, Paul (2000). *The Perception of Risk*. Londres: Earthscan.
- WALASKI, Pamela (2011). *Risks and Crisis Communication: Methods and Messages*. New Jersey: Wiley.
- ZAGZEBSKI, Linda T. (1996). *Virtues of the Mind: An Inquiry into the Nature of Virtue and the Ethical Foundations of Knowledge*. Cambridge: Cambridge University Press.

XXXIV UNIVERSITAT D'ESTIU D'ANDORRA
DEL 4 AL 7 DE SETEMBRE DEL 2017

Sessió del 7 de setembre del 2017

CONCLUSIONS

Jean-Paul Marthoz

Moderador de la 34a Universitat d'Estiu d'Andorra

Per citar aquest article / Para citar este artículo / Pour citer cet article :

MARTHOZ, Jean Paul. « Conclusions » [en línia], a: Universitat d'Estiu d'Andorra (34a : 4 - 7 set., 2017 : Andorra la Vella). *Tecnologia i humanitat, llums i ombres = Tecnología y humanidad, luces y sombras = Technologie et humanité, lumières et ombres*. Andorra: Govern d'Andorra. Ministeri d'Educació i Ensenyament Superior. Universitat d'Estiu d'Andorra, 2018, p. 113-115 (978-99920-0-857-7) <<http://www.universitatestiu.ad/UEA2017>>

Il est toujours risqué de vouloir résumer les exposés et les débats qui se sont succédés au cours d'une Université d'été. Je n'ai pas la prétention de me substituer à vous, chers participants, car il vous appartient d'en tirer vos propres enseignements. Mes conclusions seront donc avant tout des intuitions, des suggestions.

La tâche était de toute façon une gageure, en raison de la diversité des thèmes qui furent abordés. Parler d'éducation, de médecine, de cyber-sécurité, de téléphonie mobile, d'agronomie, de physique quantique ou encore de sociologie, aurait pu déboucher sur un sentiment de désordre et de confusion.

Et pourtant, ces quatre soirées ont été guidées par plusieurs fils rouges :

- Nous ne pouvons pas ignorer l'importance de la technologie dans notre passé et dans notre avenir.
- Nous ne pouvons pas non plus négliger les interrogations éthiques essentielles que la recherche et l'innovation impliquent pour nos sociétés. Elles nous renvoient aux Ombres et lumières, au sous-titre de l'Université d'été. La technologie est comme un *pharmakon*, remède bénéfique ou poison maléfique. J'en veux exemple, parmi d'autres évoqués au cours de ces quatre jours, collecte des données qu'implique le développement bénéfique de la téléphonie mobile ou de la médecine connectée. Elle a aussi un côté sombre : les risques d'intrusion, de surveillance, de piratage et de violation de la vie privée. C'est dans cette tension que l'Université a évolué, nous rappelant deux éléments essentiels à la connaissance et à l'action qu'elle peut inspirer.
- le sens critique, qui est à l'origine de la découverte et de l'invention, est tout aussi crucial pour éviter que la science et la technologie ne soient dévoyées.
- la technologie ne peut pas être une échappatoire face aux défis de nos sociétés. Elle ne remplace pas le politique. Elle n'est pas en elle-même une solution. Il faudra toujours choisir en pensant aux conséquences des innovations sur l'être humain, sur la société, sur le citoyen.

Ces réflexions nous renvoient inévitablement à la question des valeurs et de la responsabilité. Elles n'interpellent pas seulement le monde politique, car le politique, en démocratie, est l'affaire de tous.

« Chacun d'entre nous porte seul la responsabilité de la forme éthique qu'il a donnée à sa propre vie », disait Jurgen Habermas. Sa réflexion pourrait inspirer la manière dont chacun tirera ses conclusions de cette 34^e Université d'Été d'Andorre.